

**APLIKASI SISTEM *FUZZY*  
UNTUK PREDIKSI HARGA *CRUDE PALM OIL* (CPO)**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

Teguh Yota Fitra

NIM 10305144040

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2014**

## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul:

### **APLIKASI SITEM *FUZZY* UNTUK PREDIKSI HARGA *CRUDE PALM OIL* (CPO)**

Oleh:

Teguh Yota Fitra

NIM. 10305144040



Dr. Agus Maman Abadi  
NIP. 19700828 199502 1 001



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

**“APLIKASI SISTEM FUZZY UNTUK PREDIKSI HARGA CRUDE PALM OIL (CPO)”**

Yang disusun oleh:

Nama : Teguh Yota Fitra

NIM : 10305144040

Prodi : Matematika

Skripsi ini telah diujikan di depan Dewan Penguji Skripsi pada tanggal 19 Juni 2014 dan dinyatakan LULUS.

### DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Agus Maman Abadi</u> NIP. 197008281995021001	Ketua Penguji		01-07-2014
<u>Eminugroho R.S., M.Sc.</u> NIP. 198504142009122003	Sekretaris Penguji		30-06-2014
<u>Dr. Dhoriva U.W.</u> NIP. 196603311993032001	Penguji Utama		30-06-2014
<u>Musthofa, M.Sc.</u> NIP. 19801107200604100	Penguji Pendamping		30-06-2014

Yogyakarta, 02 Juli 2014  
Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam



Dekan

Dr. Hartono

NIP. 196203291987021002



## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Teguh Yota Fitra

NIM : 10305144040

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

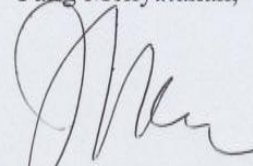
Judul Skripsi : APLIKASI SISTEM *FUZZY* UNTUK PREDIKSI HARGA  
*CRUDE PALM OIL (CPO)*

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang diambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Apabila ternyata terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, dan saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 10 Juni 2014

Yang Menyatakan,



Teguh Yota Fitra  
NIM 10305144040

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan tulisan sederhana ini untuk kedua orangtuaku yang telah berjuang membesarkanku, memeras keringat menyekolahkanku, memberikan kasih sayang yang luar biasa hebatnya, kasih sayang yang tidak akan pernah kudapati dari manusia lainnya di muka bumi ini.

Buat adik-adikku Taruna, Tirta dan Adha, kalianlah penyemangatku, kalian orang yang membuat aku harus berdiri disaat aku terjatuh, dan kalian salah satu alasan jika saat ini aku harus terus bermimpi dan berusaha.

Buat sahabat-sahabatku:

Uki, Manusia yang selalu membuat kesalahanku seolah-olah benar, kebohonganku seolah-olah menjadi kejujuran, menjadi payung disaat aku tersudut dan kehujanan. Seorang sahabat yang penuh dengan petualangan, bersama menjejaki kokohnya pegunungan, panjangnya perjalanan, derasnya hujan dan hitamnya kegelapan.

Agung, Manusia yang penuh dengan analisis, analisis yang biasanya 80% salah, manusia emosional yang penuh dengan keanehan, seorang sahabat yang memiliki cerita hidup yang sama denganku, dan sampai detik ini berusaha untuk saling menguatkan.

Febri, Manusia super yang penuh dengan perhatian, sosok Ibu yang berkelamin laki-laki, sesosok sahabat yang selalu ada disaat aku benar-benar terpuruk maupun bahagia, seorang pendengar yang hebat, mendengarkan keluhan, tangisan, seperti nadi yang terus mendengar degupan jantung.

Sahabat-sahabatku, lelaki ganteng, gemuk dan gagah perkasa, Achadika, dan wanita cantik yang super, Mey dan Ambar, terimakasih atas kelapangan dada kalian menerima orang sepertiku, orang yang aneh. Perjalanan kita selama ini adalah bukti bahwa persahabatan dapat mengalahkan tingginya gunung.

Teman-teman Matswa 10 yang mengawali cerita hidupku di kota yang penuh dengan kenangan ini. Teman-teman super yang memiliki sifat dan keanehan tersendiri. Kalian dan aku tidak berbeda, kita satu, satu dalam keluarga Matswa 10.

Buat wanita yang pernah mengisi hati ini, membuat keindahan tersendiri dalam sudut sanubari, maafkan jika impian yang pernah kita mimpikan tidak sejalan dengan kenyataan.

# **APLIKASI SISTEM FUZZY**

## **UNTUK PREDIKSI HARGA *CRUDE PALM OIL* (CPO)**

Oleh:  
Teguh Yota Fitra  
NIM 10305144040

### **ABSTRAK**

CPO yang lebih dikenal dengan minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang memiliki berbagai keunggulan dan cocok untuk dijadikan investasi. Dalam proses investasi, salah satu proses penting yang perlu dijadikan acuan sebagai pertimbangan pengambilan keputusan adalah melakukan analisis berupa prediksi harga kedepan. Salah satu model yang dapat digunakan untuk memprediksi harga CPO adalah sistem *fuzzy*. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan prosedur prediksi menggunakan sistem *fuzzy* dan mendeskripsikan tingkat keakuratan model dalam memprediksi harga CPO.

Pemodelan Sistem *Fuzzy Mamdani* diawali dengan pembagian data menjadi *training data* (TRD) dan *checking data* (CHD). TRD akan digunakan sebagai data pembuat sistem, sedangkan CHD adalah data yang akan diuji menggunakan sistem yang telah dibentuk pada TRD. Untuk membentuk sistem pada TRD maka ditentukan variabel *input* dan *output* beserta himpunan universalnya. Selanjutnya variabel *input* yang bernilai tegas tersebut dibentuk menjadi nilai *fuzzy* melalui pendekatan fungsi keanggotaan, proses ini disebut fuzzifikasi. Kemudian dibentuk *fuzzy rule base* menggunakan *table lookup scheme*. Nilai *fuzzy* yang terbentuk pada fuzzifikasi akan diolah bersama *fuzzy rule base* menggunakan implikasi *min* dan komposisi aturan *max* untuk dimodifikasi menjadi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator gabungan, proses ini disebut sebagai proses inferensi. *Output* dari proses inferensi adalah nilai *fuzzy* baru. Nilai *fuzzy* ini akan diolah menggunakan *defuzzifier* dan menghasilkan nilai tegas berupa hasil prediksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi harga CPO dengan sistem *fuzzy* dengan *input* berupa *lag 1* dan *lag 2* memberikan hasil yang lebih baik. Nilai MAPE dan MSE untuk TRD dan CHD berturut-turut 5.553%, 365679.697, dan 2.638%, 72449.146. Hasil prediksi harga per kg CPO dalam rupiah untuk 12 bulan kedepan adalah 9664.487, 9479.442, 9281.655, 9094.475, 8604.593, 9287.198, 10064.288, 10222.992, 9283.219, 8679.376, 8969.097, dan 9773.367.

**Kata Kunci :** Sistem *fuzzy*, *table lookup scheme*, CPO

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas nikmat serta karunia yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi ini. Skripsi yang berjudul “Aplikasi Sistem *Fuzzy* untuk Prediksi Harga *Crude Palm Oil* (CPO)” disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan guna meraih gelar Sarjana Sains pada Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, M.Si, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
2. Bapak Dr. Sugiman, M.Si, selaku Ketua Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Agus Maman Abadi, M.Si, selaku Ketua Program Studi Matematika Universitas Negeri Yogyakarta sekaligus Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, motivasi, serta dukungan akademik kepada penulis.
4. Seluruh dosen Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmu kepada penulis.

5. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari adanya ketidakteitian, kekurangan dan kesalahan dalam penulisan tugas akhir skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak yang terkait.

Yogyakarta, Juni 2014

Penulis

Teguh Yota Fitra



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERSETUJUAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
MOTTO .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I    PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Identifikasi Masalah .....	5
D. Tujuan .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II.....	8
KAJIAN TEORI .....	8
A. CPO ( <i>Crude Palm Oil</i> ) / Minyak Kelapa Sawit.....	8
B. Investasi.....	11
C. Penelitian-Penelitian Terdahulu .....	14
D. Himpunan Klasik .....	16
E. Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	18
F. Fungsi Keanggotaan.....	21

a.	Representasi Linear .....	21
b.	Representasi Kurva Segitiga .....	25
c.	Representasi Kurva Trapesium .....	26
d.	Representasi Kurva-S .....	28
e.	Representasi Kurva Gauss .....	30
G.	Operasi dalam Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	32
H.	Aturan <i>Fuzzy</i> Jika-Maka .....	34
I.	<i>Fuzzifier</i> .....	37
2.	<i>Gaussian fuzzifier</i> .....	37
3.	<i>Triangular fuzzifier</i> .....	38
J.	Table Look-Up Scheme .....	38
K.	<i>Fuzzy Inference Engine</i> .....	39
L.	<i>Defuzzifier</i> .....	40
1.	<i>Center of Gravity Defuzzifier / Centroid</i> .....	40
2.	<i>Center Average Defuzzifier</i> .....	40
3.	<i>Maximum Defuzzifier</i> .....	41
M.	Sistem <i>Fuzzy</i> .....	42
a.	Sistem <i>Fuzzy Mamdani</i> .....	43
b.	Sistem <i>Fuzzy Sugeno</i> .....	45
N.	Sistem <i>Fuzzy</i> untuk Data <i>Time Series</i> .....	46
O.	MSE dan MAPE .....	47
a.	MSE ( <i>Mean Square Error</i> ) .....	47
b.	MAPE ( <i>Mean Absolute Percentage Error</i> ) .....	48
P.	Langkah-langkah pemodelan Sistem <i>Fuzzy Mamdani</i> .....	48
BAB III PEMBAHASAN .....		51
BAB IV PENUTUP .....		82
A.	KESIMPULAN .....	82
B.	SARAN .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....		85
LAMPIRAN .....		88

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Representasi Linier Naik .....	22
Gambar 2.2 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> $A_9$ pada U .....	23
Gambar 2.3 Grafik Representasi Linear Turun.....	24
Gambar 2.4 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> $A_1$ pada U .....	24
Gambar 2.4 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> $A_1$ pada U .....	24
Gambar 2.5 Grafik Representasi Kurva Segitiga.....	25
Gambar 2.6 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> $A_2$ pada U .....	26
Gambar 2.7 Grafik Representasi Kurva Trapesium.....	26
Gambar 2.8 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> Trapesium $A_3$ pada U .....	27
Gambar 2.9 Grafik Representasi Kurva-S Pertumbuhan .....	28
Gambar 2.10 Grafik Representasi Kurva-S Penyusutan.....	29
Gambar 2.11 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> Kurva-S Penyusutan $A_2$ pada U .....	30
Gambar 2.12 Grafik Representasi Kurva Gauss .....	31
Gambar 2.13 Grafik Himpunan <i>Fuzzy</i> Kurva Gauss $A_5$ pada U.....	31
Gambar 2.14 Bagan Sistem <i>Fuzzy</i> .....	43
Gambar 3.1 Fungsi Keanggotaan <i>input</i> pada Model-5 .....	54
Gambar 3.2 Fungsi Keanggotaan <i>output</i> pada Model-5 .....	56
Gambar 3.3 Proses Komposisi Max dengan Operator Gabungan.....	63
Gambar 3.4 Hasil Komposisi Aturan Data 1 .....	64
Gambar 3.5 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-5 .....	66
Gambar 3.6 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-5 .....	69
Gambar 3.7 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-1 .....	71



Gambar 3.8 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-1 .....	71
Gambar 3.8 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-1 .....	72
Gambar 3.9 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-2 .....	73
Gambar 3.10 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-2 .....	74
Gambar 3.11 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-3 .....	75
Gambar 3.12 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-3 .....	76
Gambar 3.13 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-4 .....	77
Gambar 3.14 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-4 .....	78
Gambar 3.15 Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-6 .....	79
Gambar 3.16 Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-6 .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Fuzzifikasi Data $x_1, x_2, x_3; x_4$ pada Model-5 .....	58
Tabel 3.2 Fuzzifikasi Data $x_{14}, x_{15}, x_{16}; x_{17}$ pada Model-5 .....	59
Tabel 3.3 Fuzzifikasi Data $x_{17}, x_{18}, x_{19}; x_{20}$ Model-5 .....	60
Tabel 3.4 Fungsi Implikasi Min Data 1 Model-5.....	62
Tabel 3.5 Komposisi Aturan Data 1 Model-5.....	62
Tabel 3.6 Jumlah Kuadrat Error TRD Model-5 .....	67
Tabel 3.7 Jumlah Nilai Absolut Error TRD Model-5 .....	68
Tabel 3.8 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-5.....	69
Tabel 3.9 TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-1 .....	70
Tabel 3.10 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-1 .....	71
<b>Tabel 3.11</b> TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-2.....	72
Tabel 3.12 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-2.....	73
Tabel 3.13 TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-3 .....	74
Tabel 3.14 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-3 .....	75
Tabel 3.15 TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-4 .....	76
Tabel 3.16 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-4 .....	77
Tabel 3.17 TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-6 .....	78
Tabel 3.18 CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-6 .....	79
Tabel 3.19 Nilai MSE dan MAPE Masing-masing Model .....	80
Tabel 3.20 Hasil Prediksi untuk Bulan Januari 2014 s/d Desember 2014 .....	81

## DAFTAR SIMBOL

$\mu_A(x)$	: Derajat keanggotaan $x$ di $A$
$U$	: Himpunan Universal
$\alpha$	: Derajat Keanggotaan nol pada kurva-S
$\gamma$	: Pusat Kurva
$\beta$	: Lebar Kurva
$\sigma$	: Lebar Kurva Gauss
$\cap$	: Operator dan
$\cup$	: Operator atau
$y^*$	: Nilai defuzzifikasi
$A'$	: Himpunan <i>fuzzy</i> setelah fuzzifikasi
$B'$	: Himpunan <i>fuzzy</i> setelah proses inferensi
$\times$	: Operasi perkalian biasa



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Script</i> Matlab <i>Fuzzy Mamdani</i> .....	88
Lampiran 2 Data Harga CPO dari Januari 2009 s/d Desember 2013 .....	90
Lampiran 3 TRD Harga CPO.....	91
Lampiran 4 CHD Harga CPO .....	93
Lampiran 5 THD Model-5 .....	93
Lampiran 6 <i>Fuzzy rule base</i> Model-5 .....	94
Lampiran 7 Fungsi Implikasi Min Data 1 Model-5 .....	96
Lampiran 8 Komposisi Aturan Data 1 Model-5 .....	97
Lampiran 9 Hasil Prediksi Model-5.....	98
Lampiran 10 Jumlah Kuadrat Error TRD Model-5.....	99
Lampiran 11 Jumlah Nilai Absolut Error TRD Model-5.....	101
Lampiran 12 <i>Fuzzy rule base</i> Model-1 .....	102
Lampiran 13 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-5 .....	102
Lampiran 14 <i>Fuzzy rule base</i> Model-2 .....	104
Lampiran 15 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-2 .....	104
Lampiran 16 <i>Fuzzy rule base</i> Model-3 .....	105
Lampiran 17 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-3 .....	106
Lampiran 18 <i>Fuzzy rule base</i> Model-4 .....	107
Lampiran 19 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-4 .....	108
Lampiran 20 <i>Fuzzy rule base</i> Model-6 .....	110
Lampiran 21 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-6 .....	111

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

*Crude Palm Oil* (CPO) adalah salah satu hasil olahan kelapa sawit yang lebih dikenal dengan minyak kelapa sawit mentah. Minyak kelapa sawit memiliki beragam keunggulan yang terletak pada penggunaannya sebagai bahan baku beragam industri, baik industri pangan maupun nonpangan. Bahkan, minyak sawit telah dikembangkan sebagai salah satu bahan bakar nabati (Yan Fauzi, dkk., 2012: 185). Salah satu keunggulan minyak sawit adalah kadar kolesterolnya yang sangat rendah, yaitu 12-19 ppm. Sedikit lebih rendah dari minyak kedelai yang memiliki kadar kolesterol 20-35 ppm (Yan Fauzi, dkk., 2012).

Konsumsi minyak kelapa sawit meningkat tiga kali lipat dalam 3 tahun terakhir ini. Jika dibandingkan dengan minyak nabati lainnya, minyak sawit memiliki pertumbuhan paling tinggi. Konsumsi CPO dunia pada tahun 2012 mencapai 52.1 juta ton, mengalahkan konsumsi minyak kedelai yang hanya mencapai 41.7 juta ton. Pohon kelapa sawit ditanam hanya pada areal seluas 5.5 persen dari keseluruhan areal untuk penghasil minyak nabati lainnya, tetapi mampu menghasilkan produksi sejumlah 32 persen dari total panen minyak nabati di seluruh dunia (Oil Word 2013, dalam Anonim 2014).

Dibanding dengan minyak nabati apapun, CPO jelas paling murah. Sebab produksi minyak nabati sawit, rata-rata di atas 5 ton per hektar per

tahun. Dengan pengelolaan yang baik, produktivitas sawit bahkan bisa sampai 7.5 ton per hektar per tahun. Sementara minyak nabati lain umumnya jauh di bawah kelapa, yang rata-rata hanya 2.5 ton per hektar per tahun. Dengan hadirnya CPO di pasar dunia, harga kopra, minyak bunga matahari, minyak kedelai, minyak jagung, minyak kacang tanah, minyak biji kapas, semuanya langsung jatuh (R. Nugroho Purwantoro, 2008).

Hal di atas melatarbelakangi bahwa peluang berinvestasi CPO sangat menjanjikan. Investasi adalah penempatan sejumlah dana pada saat ini dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang (Eduardus Tandelilin, 2001:4). Secara sederhana, investasi adalah menabung pada sesuatu, bisa berupa barang atau bisnis dengan harapan mendapatkan keuntungan dari tabungan tersebut. Investasi pada dasarnya terbagi menjadi dua macam, investasi pada aset-aset finansial dan investasi pada aset-aset riil. Investasi finansial merupakan investasi yang dilakukan pada hal tidak berwujud, seperti saham, obligasi dan reksadana. Sedangkan investasi riil merupakan investasi yang dilakukan pada hal yang berwujud, seperti emas, properti, atau CPO.

Investasi riil merupakan investasi yang banyak dilakukan saat ini, termasuk investasi CPO. CPO sendiri merupakan salah satu komoditas yang diperdagangkan di pasar komoditas. Pasar komoditas merupakan pasar yang dinamis, karena harga yang terjadi akan selalu berubah terkait dengan pengaruh yang direfleksikan oleh perubahan dalam *supply demand* (M. Faisal dalam Iswina Dwi Yunanto, 2009). Salah satu tahap proses investasi adalah



melakukan analisis yaitu untuk mengidentifikasi perkiraan harga, kapan saat melepas dan berapa lama menahan kontrak sampai pada penyusunan kontrak-kontrak penjualan-pembelian ke depan. Analisis tersebut terbagi menjadi 2, yaitu analisis fundamental dan analisis teknikal. Analisis fundamental adalah analisis berdasarkan faktor yang secara langsung mempengaruhi harga komoditas, sedangkan analisis teknikal merupakan analisis yang didasarkan pada data yang diperoleh dari masa lalu, seperti harga, volume dan lain-lain. Memprediksi pada pasar mendatang merupakan strategi yang sangat penting bagi suksesnya usaha perdagangan komoditas lokal. Kemampuan prediksi harga komoditas berbeda untuk setiap jenis komoditas. Ketidaktepatan prediksi atau proyeksi komoditas dapat menghilangkan peluang investor mendapatkan keuntungan dari transaksi perdagangan, karena hampir sebagian besar transaksi bisnis dipengaruhi oleh hasil prediksi.

Penelitian mengenai prediksi harga CPO telah banyak dilakukan, antara lain Karia Abdul Aziz, Imbarine Bujang, dan Ismail Ahmad (2013), memprediksi harga CPO di Malaysia menggunakan model *Artificial Intelligence*. Eny Mahmudah (2010) memprediksi harga CPO menggunakan kombinasi Model *Fuzzy Mamdani* dan *Evolution Strategies*.

Dalam tulisan ini, peneliti akan memprediksi harga CPO berdasarkan analisis teknikal menggunakan sistem *fuzzy* dengan variabel *input* berupa data harga CPO bulan-bulan sebelumnya. Sistem *fuzzy* merupakan suatu sistem yang dibangun berdasarkan aturan dan pengetahuan diolah menggunakan *fuzzifier*, *fuzzy inference engine* dan *defuzzifier*. Sistem *fuzzy* merupakan

perluasan ilmu logika *fuzzy*. Teori logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Zadeh pada sekitar tahun 1965. Logika *fuzzy* merupakan perkembangan dari logika klasik, dimana setiap elemen tidak dinyatakan benar atau salah, 0 atau 1, melainkan dengan derajat keanggotaan yang memiliki nilai 0 sampai 1. Selanjutnya secara lebih khusus penelitian ini akan menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* sebagai alat prediksi harga CPO. Sistem *Fuzzy Mamdani* merupakan salah satu metode sistem *fuzzy* yang sering digunakan, karena lebih intuitif dan sesuai dengan proses *input* manusia. Sistem *Fuzzy Mamdani* juga dikenal sebagai metode *min-max*, dimana fungsi implikasi yang digunakan adalah *min* dan komposisi aturan yang digunakan adalah *max*. Seiring dengan berjalannya waktu, aplikasi sistem *fuzzy* berkembang pada berbagai bidang, termasuk untuk memprediksi data time series. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan sistem *fuzzy* dalam permasalahan berbasis data time series. Jayus Priyana dan Agus Maman Abadi (2011) memprediksi suhu udara Yogyakarta menggunakan model *fuzzy* dengan variabel *input* berupa data suhu udara sebelumnya dan data perawanan. Ali Muhson (2007) memprediksi perkiraan tingkat inflasi di Indonesia menggunakan model *fuzzy* dengan *input* berupa data inflasi sebelumnya, tingkat suku bunga kredit, jumlah uang yang beredar, pendapatan nasional dan nilai tukar rupiah.

Penelitian harga CPO menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* pernah dilakukan oleh Eny Mahmudah (2010). Eny Mahmudah mengkombinasikan metode Mamdani dengan *Evolution Strategies* dan menghasilkan kesalahan

yang cukup besar, yaitu 9 % pada data CHD. Penelitian tersebut perlu diperbaiki dengan harapan tingkat kesalahan pada data CHD dapat dikurangi. Peneliti berasumsi bahwa kombinasi metode Mamdani dan *Evolution Strategis* tersebut kurang begitu baik, sehingga peneliti menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* secara *original* untuk memprediksi harga CPO dengan judul “Aplikasi Sistem *Fuzzy* untuk Prediksi Harga *Crude Palm Oil* (CPO)”.

## **B. Batasan Masalah**

Data yang diolah adalah data sekunder yaitu data harga CPO per bulan dari Januari 1995 – Januari 2014, dengan satuan rupiah per kilogram, berjumlah 60 data dan dapat diakses dari :

<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=palm-oil&months=300&currency=idr>.

## **C. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan di atas, maka permasalahan yang didapat adalah:

1. Bagaimana penggunaan Sistem *Fuzzy Mamdani* untuk memprediksi harga CPO?
2. Bagaimana keakuratan Sistem *Fuzzy Mamdani* untuk memprediksi harga CPO.

#### **D. Tujuan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menjelaskan penggunaan Sistem *Fuzzy Mamdani* sehingga dapat memprediksi harga CPO.
2. Mengetahui keakuratan Sistem *Fuzzy Mamdani* yang dibuat dalam memprediksi harga CPO.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

##### **1. Manfaat Teoritis**

Secara teoritis, tulisan ini mampu menambah ilmu pengetahuan dan perkembangan di bidang perekonomian, dan ilmu matematika sendiri.

##### **2. Manfaat praktis**

###### **a. Bagi peneliti**

- 1) Menambah pengetahuan tentang logika *fuzzy*.
- 2) Menambah pengetahuan tentang investasi terutama pada investasi komoditas CPO.
- 3) Menambah pengetahuan bagaimana memprediksi menggunakan logika *fuzzy*.

###### **b. Bagi investor**

- 1) Memudahkan investor dalam memprediksi harga CPO kedepan, sehingga dapat mengambil keputusan yang tepat.

c. Bagi UNY

Untuk menambah koleksi bahan pustaka yang bermanfaat bagi UNY pada umumnya dan Mahasiswa Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada khususnya.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. CPO (*Crude Palm Oil*) / Minyak Kelapa Sawit

CPO yang lebih dikenal dengan minyak kelapa sawit merupakan minyak hasil olahan buah kelapa sawit yang berasal dari serabut (*mesokarp*). Minyak sawit adalah suatu *trigliserida*, yaitu senyawa *gliserol* dengan asam lemaknya. Dalam proses pembentukannya, *trigliserida* merupakan hasil kondensasi satu molekul *gliserol* dengan tiga molekul asam-asam lemak (umumnya ketiga asam lemak berbeda) yang membentuk satu molekul *trigliserida* dan tiga molekul air (S. Mangoensukardjo, 2003). Menurut penemuan arkeolog di Abydos, minyak sawit telah digunakan sejak sekitar 5000 tahun yang lalu, baik untuk tujuan gizi maupun pengobatan. Saat ini minyak kelapa sawit telah dikembangkan dan diaplikasikan dalam berbagai bidang. Pemanfaatan minyak kelapa sawit adalah sebagai berikut (Yan Fauzi, dkk., 2012):

1. Dalam industri pangan minyak kelapa sawit digunakan dalam bentuk minyak goreng, *butter* dan bahan untuk membuat kue-kue.
2. Dalam industri non-pangan minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku untuk industri farmasi, kandungan minor antara lain *karoten* dan *tokoferol* sangat berguna untuk mencegah kebutaan (defisiensi vitamin A) dan pemusnahan radikal bebas yang selanjutnya juga bermanfaat untuk mencegah kanker,



*arterosklerosis*, dan memperlambat proses penuaan. Minyak kelapa sawit juga digunakan sebagai bahan baku *oleokimia*, sebagai bahan baku industri kosmetik, aspal, dan detergen.

3. Minyak sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang dikenal dengan nama *palm biodiesel*. *Palm biodiesel* mempunyai sifat kimia dan fisika yang sama dengan minyak bumi (*petroleum diesel*), sehingga dapat digunakan langsung untuk mesin diesel atau dicampur dengan *petroleum diesel*. Selain itu, penggunaan *palm biodiesel* dapat mereduksi efek rumah kaca, polusi tanah, serta melindungi kelestarian perairan dan sumber air minum.
4. Manfaat kelapa sawit lainnya yaitu tempurung buah kelapa sawit untuk arang aktif, batang dan tandan sawit untuk *pulp* kertas, batang kelapa sawit untuk perabot dan papan partikel, batang dan pelepah kelapa sawit dapat dijadikan sebagai pakan ternak.

Berbagai hasil penelitian mengungkapkan bahwa minyak sawit memiliki keunggulan dibandingkan dengan minyak nabati lainnya. Menurut Yan Fauzi, dkk. (2012:183-185) beberapa keunggulan minyak sawit yaitu:

1. Tingkat efisiensi minyak sawit tinggi sehingga mampu menempatkan CPO menjadi sumber minyak nabati termurah.

2. Produktivitas minyak sawit tinggi yaitu 3,2 ton/ha, sedangkan minyak kedelai, lobak, kopra, dan minyak bunga matahari masing-masing 0,34, 0,51, 0,57, dan 0,53 ton/ha.
3. Memiliki sifat yang cukup menonjol dibanding dengan minyak nabati lainnya, karena memiliki keluwesan dan keluasan dalam ragam kegunaan baik di bidang pangan maupun nonpangan.
4. Sekitar 80% dari penduduk dunia, khususnya di negara berkembang masih berpeluang meningkatkan konsumsi per kapita untuk minyak dan lemak terutama minyak yang harganya murah (minyak sawit).
5. Terjadinya pergeseran dalam industri yang menggunakan bahan baku minyak bumi ke bahan yang lebih bersahabat dengan lingkungan yaitu *oleokimia* yang berbahan baku CPO, terutama di beberapa negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, dan Eropa Barat.

Saat ini minyak sawit merupakan minyak yang paling banyak dikonsumsi dunia, yaitu 52.1 juta ton atau sekitar 28.3 % dari total konsumsi minyak-minyak dunia. 85 % CPO dunia dihasilkan oleh Malaysia dan Indonesia, sehingga Malaysia dan Indonesia berpeluang memegang peranan penting dalam pembentukan harga CPO.

## B. Investasi

Investasi adalah komitmen atas sejumlah dana atau sumberdaya lainnya yang dilakukan pada saat ini, dengan tujuan memperoleh sejumlah keuntungan di masa mendatang (Eduardus Tandelilin, 2001:3). Berdasarkan definisi tersebut dapat diketahui bahwa tujuan investor berinvestasi adalah memperoleh keuntungan dari kenaikan sejumlah dana atau sumberdaya di masa yang akan datang, sebagai konsekuensi atas waktu dan resiko yang diinvestasikan pada saat ini. Secara lebih khusus, berikut beberapa alasan investor memilih berinvestasi (Eduardus Tandelilin, 2001:4):

- a. Untuk mendapatkan kehidupan yang lebih layak di masa mendatang.
- b. Mengurangi tekanan inflasi.
- c. Dorongan untuk menghemat pajak.

Menurut Abdul Halim (2005: 4), investasi dibedakan menjadi dua, yaitu investasi pada aset finansial dan investasi pada aset riil. Investasi aset finansial adalah investasi pada aset yang wujudnya tidak terlihat, tetapi tetap memiliki nilai yang tinggi, misalnya sertifikat deposito, surat berharga pasar uang, obligasi, waran, opsi, dan lain-lain. Investasi aset riil adalah investasi dalam bentuk yang dapat dilihat secara fisik, seperti pendirian pabrik, pembukaan pertambangan, emas, CPO dan lainnya. Sedangkan Cakti Gita Arwana (2013) menjelaskan bahwa, investasi dibedakan menjadi empat, yaitu investasi kekayaan riil (*real property*),

investasi kekayaan pribadi yang tampak (*tangible personal property*), investasi keuangan (*financial investment*), dan investasi komoditas.

Investasi komoditas diperjualbelikan di pasar komoditas. Contoh investasi komoditas yaitu investasi pada CPO. Investasi pada CPO juga digolongkan sebagai investasi pada aset riil. Salah satu tahap proses investasi CPO adalah melakukan analisis yaitu untuk mengidentifikasi perkiraan harga, kapan saat melepas dan berapa lama menahan kontrak sampai pada penyusunan kontrak-kontrak penjualan-pembelian ke depan. Perkiraan harga merupakan hal yang sangat mempengaruhi investor dalam mengambil keputusan. Perkiraan harga yang tepat akan mendatangkan keuntungan sedangkan perkiraan yang salah akan merugikan investor. Untuk menentukan kecenderungan harga naik atau turun dilakukan dengan dua analisis pasar, yaitu (Johanes Arifin Wijaya, 2006):

a. Analisis fundamental, yaitu analisis berdasarkan faktor yang secara langsung mempengaruhi harga komoditas. Ada dua jenis sifat berita fundamental, yaitu:

1. Berita permintaan bersifat *bullish*

Sifat ini menggambarkan gerakan harga terlibat seolah-olah akan turun tetapi sebenarnya harga akan naik. Contoh berita yang termasuk dalam kategori ini adalah berita cuaca buruk, *buying power*, dll.

2. Berita penawaran bersifat *bearish*

Sifat ini menggambarkan gerakan harga pasar seolah-olah akan naik, tetapi sebenarnya akan turun. Contoh berita yang termasuk dalam kategori ini adalah cuaca baik, kekurangan atas permintaan.

- b. Analisis teknikal, yaitu suatu analisis berdasarkan data yang diperoleh dari peristiwa masa lalu, seperti harga, volume dan *open interest*. Terdapat beberapa cara penggunaan analisis teknikal, diantaranya:

1) Analisis teknikal dengan metode *support* dan *resistant*

- a) Filosofi, antara lain *market price discount everything* (segala kejadian yang dapat mengakibatkan gejolak pada bursa komoditi secara keseluruhan). *Prices moves in trend* (harga komoditi akan bergerak dalam suatu tren), *history repeat it self* (analisis teknikal menggambarkan faktor psikologis pelaku pasar, sehingga pergerakan historis dapat dijadikan acuan untuk memperkirakan harga pada masa yang akan datang).

- b) Pembuatan *candle stick chart*.

- c) *Trend line*, arah pergerakan harga yang berbentuk garis lurus.

- 2) Analisis teknikal dengan metode statistika. Teknik ini dapat menggunakan bantuan stitistika untuk menganalisis. Metode yang digunakan biasanya *moving average*, *relative strength index*, dan lain-lain.

### C. Penelitian-Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang prediksi harga CPO telah banyak dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Abdul Aziz Karia, Imbarine Bujang & Ahmad Ismail (2013) memprediksi harga CPO menggunakan metode ARFIMA (*Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average*), ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) dan ANN (*Artificial Neural Network*). *Input* yang digunakan adalah data harga harian CPO Malaysia dari Januari 2004 sampai Desember 2011. Metode terbaik adalah ANN dengan nilai MSE 0.000233 dan MAPE 0.001301%, diikuti oleh ARFIMA dengan nilai MSE 0.000290 dan MAPE 0.001337% dan ANFIS dengan nilai MSE 0.002698 dan MAPE 0.004405%.
2. Eny Mahmudah (2010) memprediksi harga CPO menggunakan kombinasi *Fuzzy Mamdani* dan *Evolution Strategis*. *Evolution Strategies* digunakan untuk mendapatkan sistem *fuzzy* yang optimal dalam memprediksi CPO. Sistem ini menghasilkan akurasi sebesar 95% pada TRD dan 91% pada CHD.
3. Silalahi (2013) memprediksi harga CPO menggunakan Model *neural network* dengan Algoritma Genetika yang dikenal dengan GANN (*Genetic Algorithm Neural Network*). Algoritma genetika digunakan sebagai pengoptimalan jaringan pada *neural network*. Penelitian ini menunjukkan bahwa GANN merupakan alat prediksi yang *powerfull*.



4. Nik Muhammad Naziman Ab Rahman, Abdol Sama Nawi dan Yusrina Hayati Nik Muhd Naziman (2012) meneliti tentang penentuan harga CPO pada Pasar Berjangka CPO di Malaysia. Metode yang digunakan adalah *Johansen Multivariate Co-integration Test* dan *Error-Correlation Model* (ECM) dengan *input* berupa data harga CPO Malaysia pada Januari 1998 sampai Desember 2010. Metode *Johansen Multivariate Co-integration* menunjukkan harga *spot* dan harga *futures* CPO terintegrasi pada order pertama dan terjalin bersama pada relasi equilibrium *long-run*. Sedangkan ECM menunjukkan bahwa perubahan pada harga *futures* berpengaruh pada harga *spot*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat hubungan yang dinamis antara harga *spot* dan harga *futures* pada pasar berjangka CPO Malaysia dalam penentuan harga CPO. Dengan kata lain, ada suatu fungsi khusus yang menentukan penentuan harga CPO.
5. Abdul Razak Abdul Hadi, dkk. (2011) meneliti tentang hubungan harga CPO dengan harga minyak mentah (COP) menggunakan metode *Engle-Granger Co-integration* dan ECM berdasarkan data *time series* pada Januari 2000 hingga November 2010. Metode *Granger Co-integration* menunjukkan bahwa terdapat hubungan bersifat *long-term* yang signifikan diantara harga CPO dan COP, hal ini diperkuat dengan ECM yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan dinamis antara CPO dan COP. Selain itu, kedua variabel tersebut juga menunjukkan korelasi yang positif, kenaikan harga COP akan menyebabkan harga

CPO naik, dan sebaliknya penurunan harga COP akan diikuti penurunan harga CPO.

#### **D. Himpunan Klasik**

Soedjadi (1988:11) mendefinisikan himpunan klasik sebagai kumpulan objek dengan syarat tertentu dan jelas. Dalam hal ini kata sekumpulan dianggap telah diketahui. Misal, kumpulan orang tinggi bukan merupakan suatu himpunan. Tetapi kumpulan orang yang tingginya lebih dari 140 adalah suatu himpunan. Suatu nilai yang mewakili seberapa besar tingkat keanggotaan suatu elemen ( $x$ ) pada suatu himpunan ( $A$ ) sering dikenal dengan nama nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan, dinotasikan dengan  $\mu_A(x)$ . Derajat keanggotaan himpunan klasik adalah  $\{0,1\}$  dan didefinisikan sebagai berikut (Klir dan Yuan, 1995:6):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \text{ untuk setiap nilai } x \\ 0 & \text{if } x \notin A \text{ untuk setiap nilai } x \end{cases}$$

Secara sederhana, dalam himpunan klasik keberadaan suatu elemen pada suatu himpunan  $A$ , hanya akan mempunyai dua kemungkinan keanggotaan, yaitu menjadi anggota  $A$  ( $x \in A$ ) atau tidak menjadi anggota  $A$  ( $x \notin A$ ).

#### **Contoh 2.1**

Jika  $U$  merupakan himpunan semesta harga CPO pada  $t - 1$  dengan  $U_1$  adalah domain himpunan fuzzy  $A_1$ ,  $U_1 = [5800 \ 6475]$ , maka

1. Nilai keanggotaan 5800 pada himpunan  $U_1$ ,  $\mu_{U_1}(5800) = 1$ ,  
karena  $5800 \in U_1$ .
2. Nilai keanggotaan 7000 pada himpunan  $U_1$ ,  $\mu_{U_1}(7000) = 0$ ,  
karena  $7000 \notin U_1$ .

### Contoh 2.2

Variabel harga CPO pada  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$ , dibagi 4 himpunan berikut:

$A_1$  : Jika harga CPO  $5800 \leq x < 7150$

$A_2$  : Jika harga CPO  $7150 \leq x < 8500$

$A_3$  : Jika harga CPO  $8500 \leq x < 9850$

$A_4$  : Jika harga CPO  $9850 \leq x \leq 11200$

Maka menurut 4 himpunan tersebut:

1. Harga CPO 8499 merupakan anggota himpunan  $A_2$
2. Harga CPO 8500 merupakan anggota himpunan  $A_3$

Contoh tersebut menyatakan bahwa pemakaian himpunan tegas untuk menyatakan harga CPO terlihat kurang bijaksana atau kurang adil, sebab adanya perubahan kecil pada suatu nilai menyebabkan perbedaan yang sangat signifikan pada status nilai tersebut pada suatu himpunan.

## E. Himpunan *Fuzzy*

Permasalahan yang terjadi pada contoh 2.2 melatarbelakangi munculnya teori himpunan *fuzzy*. Pada tahun 1965, Lothfi Asker Zadeh memperkenalkan teori himpunan *fuzzy* yang merupakan perkembangan teori himpunan klasik. Dalam himpunan *fuzzy* keberadaan suatu elemen tidak lagi bernilai benar atau salah, tetapi akan selalu bernilai benar jika mempunyai derajat keanggotaan yang berada dalam rentang  $[0,1]$  (Klir dan Yuan, 1995).

**Definisi 2.1** (Wang, 1997: 21)

Sebuah himpunan *fuzzy*  $A$  pada himpunan universal  $U$  dinyatakan dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(x)$  yang terletak pada rentang  $[0,1]$ .

Suatu himpunan *fuzzy*  $A$  juga direpresentasikan sebagai himpunan pasangan berurutan dari generik  $x$  dan fungsi keanggotaannya, yaitu (Wang, 1997: 22):

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in U\}$$

dengan  $\mu_A(x)$  adalah fungsi keanggotaan.

### Contoh 2.3

Misalkan  $A_2$  adalah himpunan *fuzzy* harga CPO dan  $U$  adalah himpunan universal harga CPO =  $[5800 \ 11200]$ , maka  $A_2$  dapat dinotasikan sebagai:

$$A_2 = \{(x, \mu_{A_2}(x) | x \in U\}$$

dengan

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \\ \frac{(x-5800)}{675}; & 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{(7150-x)}{675}; & 6475 \leq x \leq 7150 \end{cases}$$

Selain itu himpunan *fuzzy* juga dinotasikan sebagai (Sri Kusumadewi dan Sri Hartati, 2010:20):

a) Untuk diskret:

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \mu_A(x_3)/x_3 + \dots = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i$$

Notasi diskret digunakan untuk data diskret, yaitu data yang jumlahnya dapat dihitung (Bluman, 2009:6).

#### Contoh 2.4

Misalkan  $A_2$  adalah himpunan *fuzzy* harga CPO,  $A_2 = \{5800, 5900, 6000, 6125, 6200, 6400\}$  dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \\ \frac{(x - 5800)}{675}; & 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{(7150 - x)}{675}; & 6475 \leq x \leq 7150 \end{cases}$$

Himpunan *fuzzy*  $A_2$  dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$A_2 = 0/5800 + 0.15/5900 + 0.3/6000 + 0.48/6125 + 0.6/6200 + 0.89/6400$$

b) Untuk Kontinu

$$A = \int_U \mu_A(x)/x$$

Notasi kontinu digunakan untuk data kontinu, yaitu data yang memiliki jumlah bilangan tak berhingga diantara 2 bilangan khusus (Bluman, 2009:6).

### Contoh 2.5

Misalkan  $U$  adalah rentang [5800 11200] yang mewakilkan harga CPO pada waktu  $t - 1$ . Maka dapat mendefinisikan himpunan *fuzzy*  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$  dengan:

$$A_1 = \int_{5800}^{6475} \frac{6475-x}{675} /x$$

$$A_2 = \int_{5800}^{7150} 1 - \frac{|x-6475|}{675} /x$$

$$A_3 = \int_{6475}^{7825} 1 - \frac{|x-7150|}{675} /x$$

$$A_4 = \int_{7150}^{8500} 1 - \frac{|x-7825|}{675} /x$$

$$A_5 = \int_{7825}^{9175} 1 - \frac{|x-8500|}{675} /x$$

$$A_6 = \int_{8500}^{9850} 1 - \frac{|x-9175|}{675} /x$$

$$A_7 = \int_{9175}^{10525} 1 - \frac{|x-9850|}{675} /x$$

$$A_8 = \int_{9850}^{11200} 1 - \frac{|x-10525|}{675} /x$$



$$A_9 = \int_{10525}^{11200} 1 - \frac{x-11200}{675} / x$$

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu (Sri Kusumadewi, 2010: 158):

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu himpunan yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami. Contoh: rendah, sedang, tinggi,  $A_1$ ,  $A_2$  dll.
2. Numeris, yaitu suatu nilai atau angka yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel. Contoh: 5900, 7654.345, dll.

#### **F. Fungsi Keanggotaan**

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam derajat keanggotaannya. Fungsi keanggotaan dapat direpresentasikan dengan beberapa cara, seperti representasi secara grafik, representasi secara tabulasi dan list, representasi secara geometrik dan representasi secara analitik (Klir dan Yuan, 1997: 76-86). Umumnya representasi yang sering dipakai adalah representasi secara analitik. Adapun fungsi keanggotaan yang biasa digunakan secara analitik adalah sebagai berikut (Sri Kusumadewi, 2003:160):

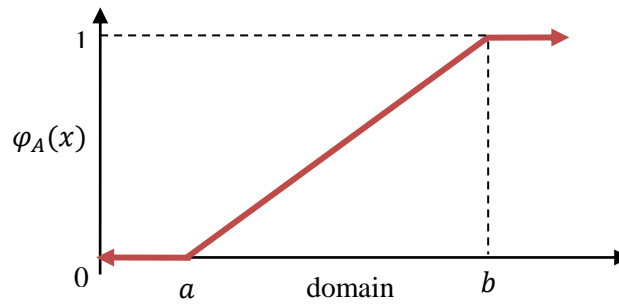
##### **a. Representasi Linear**

Bentuk paling sederhana dari fungsi keanggotaan adalah representasi linear. Representasi ini memetakan *input* ke derajat

keanggotaannya sebagai garis lurus. Terdapat 2 kemungkinan himpunan *fuzzy* yang linear, yaitu:

### 1. Representasi Linear Naik

Representasi linear naik dimulai dari keadaan derajat keanggotaan bernilai 0 bergerak ke kanan menuju nilai domain dengan derajat keanggotaan yang lebih tinggi. Berikut merupakan grafik representasi linear naik:



**Gambar 2.1** Grafik Representasi Linier Naik

dengan fungsi keanggotaan:

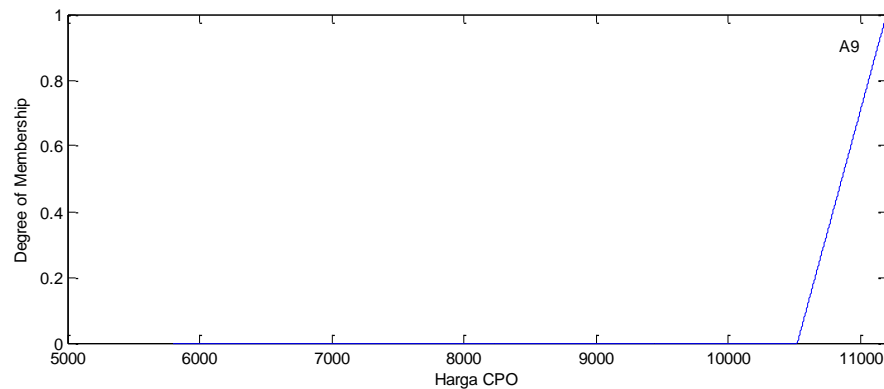
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases}$$

### Contoh 2.6

$A_9$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 10525 \\ \frac{x-10525}{675} & ; 10525 \leq x \leq 11200 \\ 1 & ; x \geq 11200 \end{cases}$$

Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah sebagai berikut:



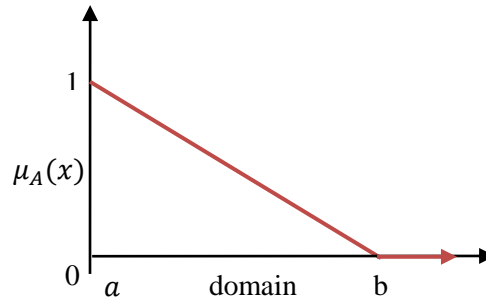
**Gambar 2.2** Grafik Himpunan *Fuzzy*  $A_9$  pada  $U$

Misalkan untuk menentukan derajat keanggotaan harga CPO 11100 maka dilakukan perhitungan

$$\mu_{A_1}(11100) = \frac{11100-10525}{675} = 0.85$$

## 2. Representasi Linear Turun

Representasi linear turun merupakan kebalikan dari representasi linear naik, yakni dimulai dari domain yang derajat keanggotaan bernilai 1 bergerak ke kanan menuju domain yang berderajat keanggotaan 0. Grafik representasi linear turun digambarkan seperti berikut:



**Gambar 2.3** Grafik Representasi Linear Turun

dengan fungsi keanggotaan:

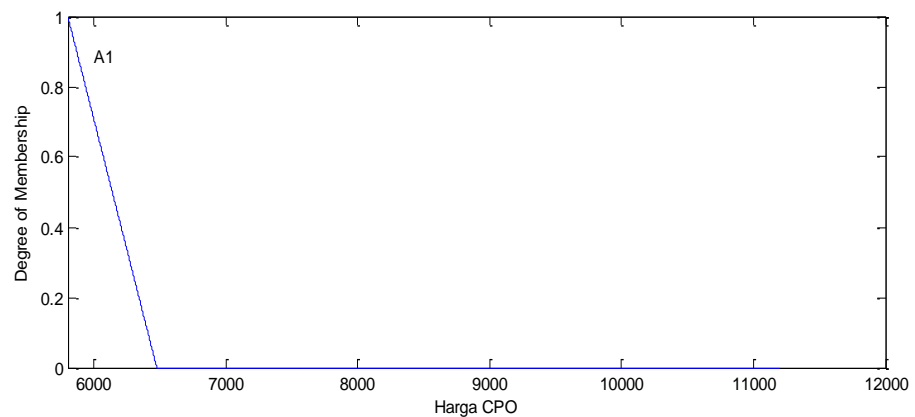
$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases}$$

### Contoh 2.7

$A_1$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan:

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} \frac{6475-x}{675} & ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ 0 & x \geq 6475 \end{cases}$$

Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah sebagai berikut:



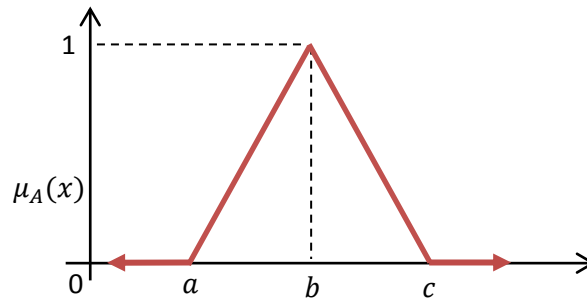
**Gambar 2.4** Grafik Himpunan Fuzzy  $A_1$  pada  $U$

Misalkan untuk mengetahui derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan  $A_1$  maka dilakukan perhitungan

$$\mu_{A_1}(6100) = \frac{6475-6100}{675} = 0.56$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Representasi Kurva segitiga merupakan gabungan dari representasi linear naik dan representasi linear turun. Grafik representasi kurva segitiga adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Grafik Representasi Kurva Segitiga

dengan fungsi keanggotaan:

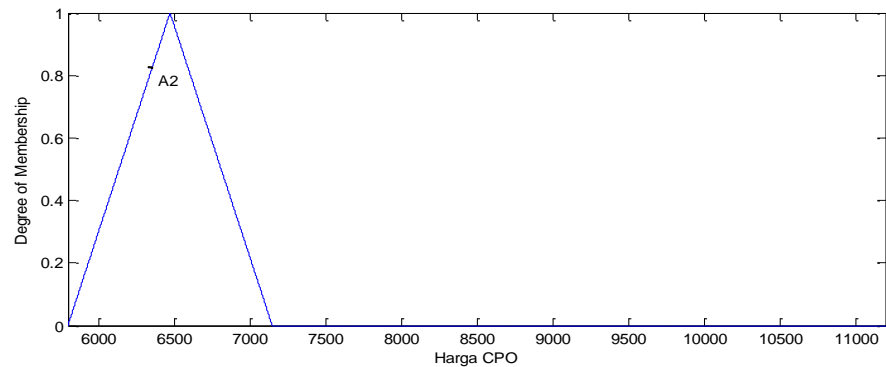
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \end{cases}$$

**Contoh 2.8**

$A_2$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \\ \frac{x - 5800}{675} & ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{7150 - x}{675} & ; 6475 \leq x \leq 7150 \end{cases}$$

Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah:



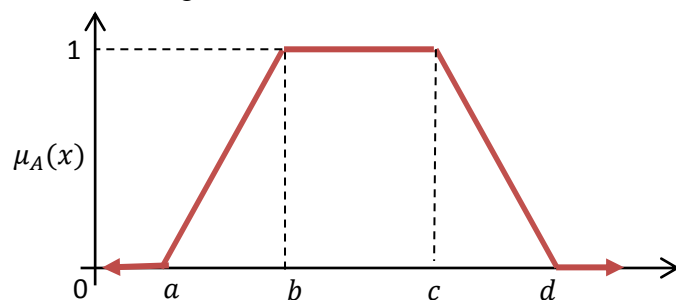
**Gambar 2.6** Grafik Himpunan *Fuzzy*  $A_2$  pada  $U$

Misalkan untuk mengetahui derajat keanggotaan 6100 pada himpunan  $A_2$  maka dilakukan perhitungan:

$$\mu_{A_2}(6100) = \frac{6100 - 5800}{675} = 0.44$$

### c. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya merupakan representasi segitiga, hanya saja domain yang memiliki derajat keanggotaan 1 lebih dari 1 titik. Grafik representasi kurva trapesium digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.7** Grafik Representasi Kurva Trapesium

dengan fungsi keanggotaan:

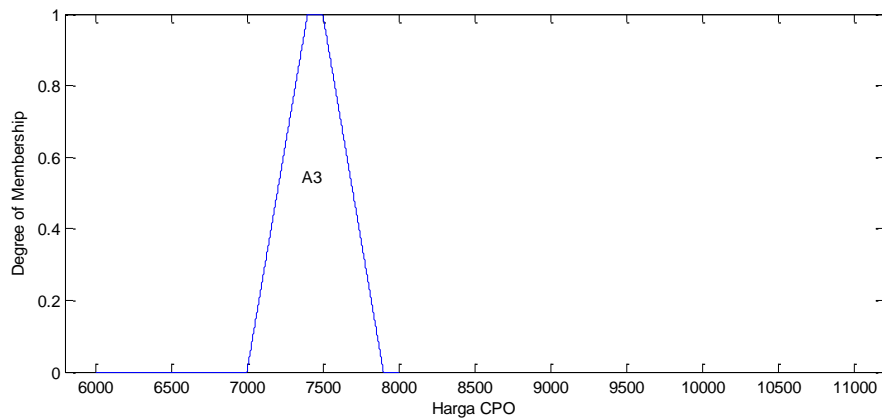
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c \leq x \leq d \end{cases}$$

### Contoh 2.9

$A_3$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 7000 \text{ atau } x \geq 7900 \\ \frac{x-7000}{400} & ; 7000 \leq x \leq 7400 \\ 1 & ; 7400 \leq x \leq 7500 \\ \frac{7900-x}{400} & ; 7500 \leq x \leq 7900 \end{cases}$$

grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah:



**Gambar 2.8** Grafik Himpunan *Fuzzy* Trapesium  $A_3$  pada  $U$

Misalkan untuk mencari fungsi keanggotaan harga CPO 7700 maka dilakukan perhitungan



$$\mu_{A_2}(7700) = \frac{7900-7700}{400} = 0.5$$

d. Representasi Kurva-S

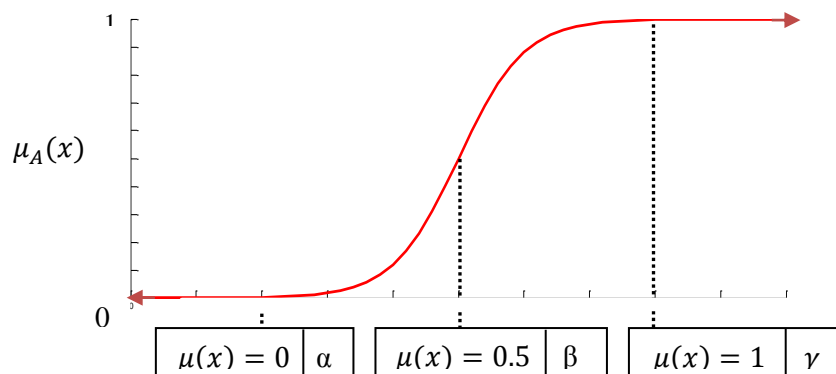
Kurva-S atau sigmoid merupakan representasi yang memetakan *input* ke derajat keanggotaanya secara tak linear.

Kurva S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu:

1. Nilai keanggotaan nol ( $\alpha$ )
2. Nilai keanggotaan lengkap ( $\gamma$ )
3. Titik infleksi atau crossover ( $\beta$ )

Fungsi keanggotaan akan bertumpu pada derajat keanggotaan 0.5 yang sering disebut dengan titik infleksi. Sama halnya dengan representasi linear, representasi kurva-S juga memiliki 2 kemungkinan, yaitu:

1. Kurva-S pertumbuhan, yaitu kurva-S yang dimulai dari domain dengan derajat keanggotaan 0 bergerak ke kanan menuju domain dengan derajat keanggotaan 1. Gambar berikut merupakan grafik representasi kurva-S pertumbuhan:

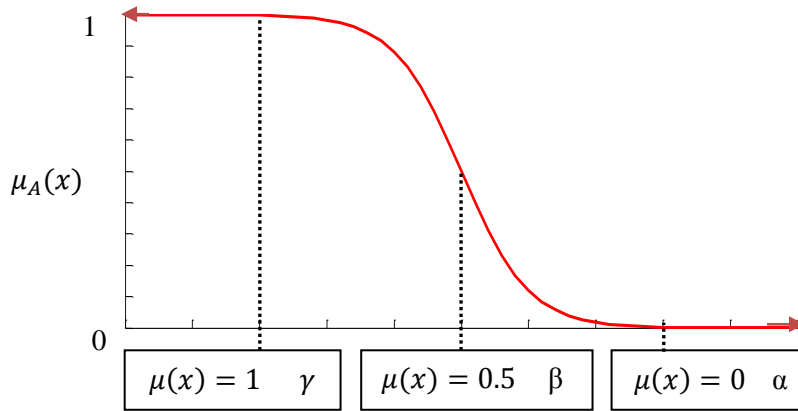


**Gambar 2.9** Grafik Representasi Kurva-S Pertumbuhan

dengan fungsi keanggotaan:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0; & x \leq \alpha \\ 2((x - \alpha)/(\gamma - \alpha))^2; & \alpha < x \leq \beta \\ 1 - 2((\gamma - x)/(\gamma - \alpha))^2; & \beta < x < \gamma \\ 1; & x \geq \gamma \end{cases}$$

2. Kurva-S penyusutan, yaitu kurva-S yang dimulai dari domain dengan derajat keanggotaan 1 yang berada di sisi kiri bergerak ke kanan menuju domain dengan derajat keanggotaan 0. Berikut merupakan gambar grafik representasi kurva-S penyusutan:



**Gambar 2.10** Grafik Representasi Kurva-S Penyusutan

dengan fungsi keanggotaan:

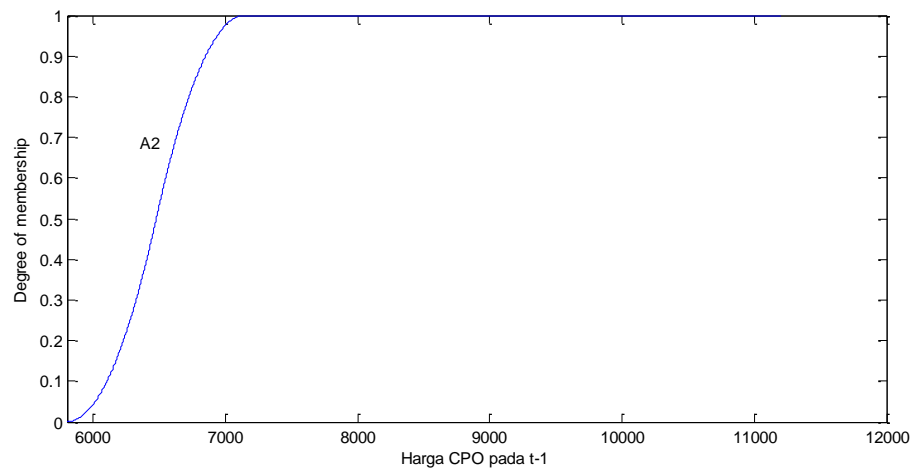
$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1; & x \leq \alpha \\ 1 - 2((x - \alpha)/(\gamma - \alpha))^2; & \alpha < x < \beta \\ 2((\gamma - x)/(\gamma - \alpha))^2; & \beta \leq x < \gamma \\ 0; & x \geq \gamma \end{cases}$$

### Contoh 2.10

$A_2$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$S(x, 5800, 6475, 7150) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 5800 \\ 2 \left( \frac{x-5800}{1350} \right)^2 & ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ 1 - 2 \left( \frac{7150-x}{1350} \right)^2 & ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ 1 & ; x \geq 7150 \end{cases}$$

Grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah:



**Gambar 2.11** Grafik Himpunan *Fuzzy* Kurva-S Penyusutan  $A_2$  pada  $U$

Misalkan untuk menentukan derajat keanggotaan harga CPO

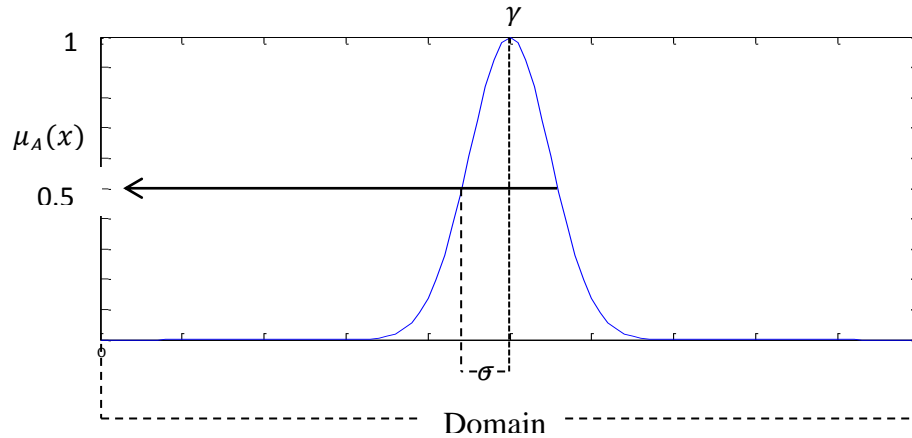
6500 maka dilakukan perhitungan:

$$\mu_{A_2}(x) = 1 - 2 \left( \frac{7150-6500}{1350} \right)^2$$

$$\mu_{A_2}(x) = 0.536$$

e. Representasi Kurva Gauss

Kurva gauss merupakan kurva berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat dengan domain  $\gamma$ , dan lebar kurva  $\sigma$  seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.12** Grafik Representasi Kurva Gauss

dengan fungsi keanggotaan:

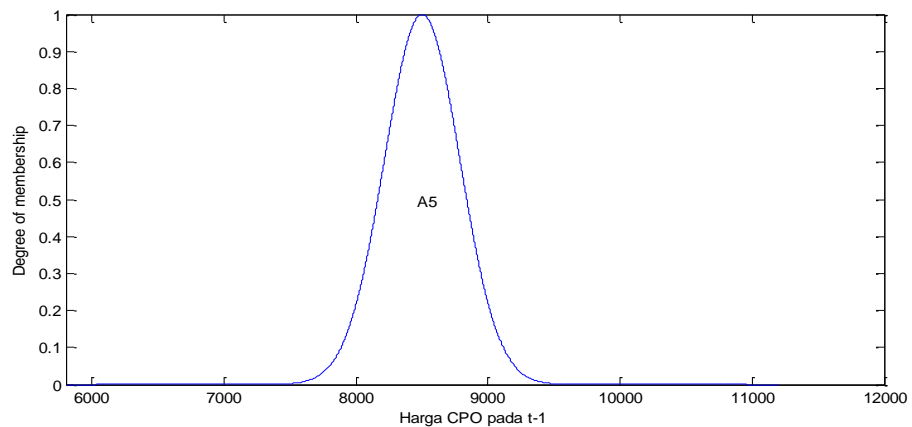
$$G(x; \sigma; \gamma) = e^{-\frac{(x-\gamma)^2}{2\sigma^2}}$$

### Contoh 2.11

$A_5$  merupakan salah satu himpunan *fuzzy* harga CPO pada waktu  $t - 1$  dengan himpunan universal  $U = [5800 \ 11200]$  yang mempunyai fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$G(x; 286.6; 8500) = e^{-\frac{(x-8500)^2}{2(286.6)^2}}$$

grafik representasi dari fungsi keanggotaan tersebut adalah:



**Gambar 2.13** Grafik Himpunan *Fuzzy* Kurva Gauss  $A_5$  pada  $U$

Misalkan untuk mencari derajat keanggotaan harga CPO 8700 maka dilakukan perhitungan:

$$G(8700; 286.6; 8500) = e^{-\frac{(8700-8500)^2}{2(286.6)^2}}$$

$$G(8700; 286.6; 8500) = 0.784$$

### G. Operasi dalam Himpunan Fuzzy

Operasi dasar pada himpunan fuzzy terbagi atas 3 operator, yaitu komplemen, irisan dan gabungan. Derajat keanggotaan yang diperoleh dari 2 atau lebih himpunan fuzzy disebut dengan *fire strength* atau  $\alpha$  – *predikat*. Adapun ketiga operasi dasar himpunan fuzzy tersebut didefinisikan sebagai berikut (Wang, 1997:29):

#### Definisi 2.2 Operasi dasar komplemen

Misalkan A adalah himpunan fuzzy yang berada dalam himpunan universal U, maka komplemen A yang disimbolkan dengan  $\bar{A}$  didefinisikan sebagai

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U$$

#### Contoh 2.12

Misalkan derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan fuzzy  $A_2$  adalah 0.44, maka komplemen derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan fuzzy  $A_2$

$$\mu_{\bar{A}_2}(6100) = 1 - \mu_{A_2}(6100)$$

$$\mu_{\bar{A}_2}(6100) = 1 - 0.44$$

$$\mu_{\bar{A}_2}(6100) = 0.56$$

**Definisi 2.3** Operasi dasar Irisan

Misalkan  $A$  dan  $B$  adalah himpunan *fuzzy* yang berada dalam himpunan universal  $U$ , maka irisan  $A$  dan  $B$  yang disimbolkan dengan  $A \cap B$  didefinisikan sebagai

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A[x], \mu_B[x])$$

**Contoh 2.13**

Misalkan derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan  $A_1$  adalah 0.44 dan derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan  $A_2$  adalah 0.56, maka

$$\begin{aligned}\mu_{A_1 \cap A_2}(6100) &= \min(\mu_{A_1}[6100], \mu_{A_2}[6100]) \\ &= \min(0.44, 0.56) \\ &= 0.44\end{aligned}$$

**Definisi 2.4** Operasi dasar gabungan

Misalkan  $A$  dan  $B$  adalah himpunan *fuzzy* yang berada dalam himpunan universal  $U$ , maka gabungan  $A$  dan  $B$  yang disimbolkan dengan  $A \cup B$  didefinisikan sebagai

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A[x], \mu_B[x])$$

**Contoh 2.14**

Misalkan derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan  $A_1$  adalah 0.44 dan derajat keanggotaan harga CPO 6100 pada himpunan  $A_2$  adalah 0.56, maka

$$\begin{aligned}\mu_{A_1 \cup A_2}(6100) &= \max(\mu_{A_1}[6100], \mu_{A_2}[6100]) \\ &= \max(0.44, 0.56)\end{aligned}$$

$$= 0.56$$

## H. Aturan Fuzzy Jika-Maka

Dalam sistem dan kontrol *fuzzy*, pengetahuan manusia dinyatakan dalam istilah aturan *fuzzy* jika-maka (Wang, 1997: 62). Bentuk Umum aturan *fuzzy* jika-maka adalah

*Jika < proposisi fuzzy >, Maka < proposisi fuzzy >*

Sebelum membahas tentang aturan *fuzzy*, akan dijelaskan proposisi *fuzzy* terlebih dahulu. Proposisi *fuzzy* memiliki 2 jenis, yaitu proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* merupakan sebuah kalimat tunggal, misalnya

*x adalah A*

dimana *x* adalah variabel linguistik.

Jika proposisi *fuzzy atomic* dikomposisikan menggunakan kata penghubung “dan”, “atau” dan “bukan” maka disebut sebagai proposisi *fuzzy compound*, misalnya

*x adalah A<sub>1</sub> dan x bukan A<sub>2</sub>*

*x adalah A<sub>1</sub> atau x bukan A<sub>3</sub>*

*x adalah A<sub>1</sub> dan y adalah A<sub>2</sub>*

Proposisi *fuzzy compound* diartikan sebagai relasi *fuzzy* (Wang, 1997:63). Cara untuk menentukan fungsi keanggotaan dari relasi *fuzzy* yang demikian adalah sebagai berikut (Wang, 1997:63-64):

1. Kata penghubung “dan” menggunakan operasi irisan pada himpunan *fuzzy*. Sebagai contoh, misalkan *x* dan *y* adalah variabel linguistik dari

domain  $U$  dan  $V$ ,  $A$  dan  $B$  adalah himpunan *fuzzy* yang berada dalam domain  $U$  dan  $V$ , maka proposisi *fuzzy compound*  $x$  adalah  $A$  dan  $y$  adalah  $B$  diinterpretasikan sebagai relasi *fuzzy*  $A \cap B$  pada  $U \times V$  dengan fungsi keanggotaan

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = \min [\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

2. Kata penghubung “atau” menggunakan operasi gabungan pada himpunan *fuzzy*. Sebagai contoh, misalkan  $x$  dan  $y$  adalah variabel linguistik dari domain  $U$  dan  $V$ ,  $A$  dan  $B$  adalah himpunan *fuzzy* yang berada dalam domain  $U$  dan  $V$ , maka proposisi *fuzzy compound*  $x$  adalah  $A$  atau  $y$  adalah  $B$  diinterpretasikan sebagai relasi *fuzzy*  $A \cup B$  pada  $U \times V$  dengan fungsi keanggotaan

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = \max [\mu_A(x), \mu_B(y)]$$

3. Kata penghubung “bukan” menggunakan operasi komplemen pada himpunan *fuzzy*. Sebagai contoh, misalkan  $x, y, z$  adalah variabel linguistik dari domain  $U, V, W$ , dan  $A, B, C$  adalah himpunan *fuzzy* yang berada dalam domain  $U, V$  dan  $W$ , maka proposisi *fuzzy compound*

$$FP = (x \text{ adalah } A \text{ dan } y \text{ tidak } B) \text{ atau } z \text{ adalah } C$$

diinterpretasikan dengan fungsi keanggotaan

$$\mu_{FP}(x, y, z) = \max\{\min [\mu_A(x), \mu_{\bar{B}}(y)], \mu_C(z)\}$$

Proposisi setelah *Jika* disebut antiseden dan proposisi setelah *Maka* disebut konsekuen. Himpunan aturan *fuzzy* jika-maka secara lengkap



selanjutnya disebut sebagai *fuzzy rule base*. *Fuzzy rule base* merupakan inti dari sistem *fuzzy*. Karena *fuzzy rule base* berisi himpunan aturan *fuzzy* jika-maka, maka akan timbul banyak pertanyaan tentang hubungan aturan satu dengan aturan yang lain. Maka perlu didefinisikan hal-hal sebagai berikut (Wang, 1997: 92-94):

### Definisi 2.5

Suatu himpunan aturan *fuzzy* jika-maka dinyatakan lengkap jika untuk setiap  $x \in U$  terdapat setidaknya satu aturan yang ada dalam aturan *fuzzy*, katakan  $Ru^{(l)}$ , sedemikian sehingga  $\mu_{A_i^l}(x_i) \neq 0$  dimana

- $Ru^l$  menyatakan aturan ke- $l$
- $i = 1, 2, \dots, n$
- $l$  menyatakan banyaknya aturan,  $l = 1, 2, 3, \dots$

### Definisi 2.6

*Fuzzy rule base* dinyatakan konsisten jika tidak ada bagian antiseden yang sama tapi memiliki konsekuen yang berbeda.

Untuk mendapatkan *fuzzy rule base* maka dapat dilakukan berbagai cara, antara lain:

- a. Menanyakan hubungan keterkaitan antara variabel-variabel yang akan dihubungkan kepada pakar (ahlinya).
- b. Menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data masukan dan keluaran.

## I. *Fuzzifier*

Fuzzifikasi adalah suatu pemetaan nilai/harga nyata  $x^* \in U$  ke dalam himpunan *fuzzy*  $A'$  pada  $U$  (Wang, 1997: 105). Proses pemetaan tersebut melalui pendekatan fungsi keanggotaan atau menggunakan *fuzzifier*. Dengan kata lain, fuzzifikasi merupakan proses pengubahan *input* berupa data real menjadi nilai *fuzzy* melalui pendekatan fungsi keanggotaan atau menggunakan *fuzzifier*.

Terdapat beberapa metode *fuzzifier*, 3 diantaranya yaitu (Wang, 1997: 105):

### 1. *Singleton fuzzifier*

*Fuzzifier* ini memetakan data real  $x^* \in U$  ke dalam nilai *fuzzy* *singleton*  $A'$  pada  $U$  dengan derajat keanggotaan 1 pada  $x^*$  dan 0 pada nilai selain  $x^*$ , ditulis

$$\mu_{A'} = \begin{cases} 1 & ; x = x^* \\ 0 & ; \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

### 2. *Gaussian fuzzifier*

*Fuzzifier* ini memetakan data real  $x^* \in U$  ke dalam himpunan *fuzzy*  $A'$  di  $U$  dengan fungsi keanggotaan:

$$\mu_{A'}(x) = e^{\left(\frac{x_1 - (x_1^*)}{a_1}\right)^2} \diamond \dots \diamond e^{\left(\frac{x_n - (x_n^*)}{a_n}\right)^2}$$

dengan

$a_i$  menyatakan parameter positif

$\diamond$  menyatakan perkalian *product* atau *min*

### 3. *Triangular fuzzifier*

*Fuzzifier* ini memetakan data real  $x^* \in U$  ke dalam himpunan fuzzy  $A'$  pada  $U$  dengan fungsi keanggotaan:

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{|x_1 - x_1^*|}{b_1}\right) \diamond \dots \diamond 1 - \left(\frac{|x_n - x_n^*|}{b_n}\right) & ; \text{jika } |x_i - x_i^*| \leq b_i, i = 1, 2, \dots, n \\ 0 & ; \text{untuk yang lain} \end{cases}$$

dengan

$b_i$  menyatakan parameter positif

$\diamond$  menyatakan perkalian *product* atau *min*

### J. Table Look-Up Scheme

Pada penelitian ini, aturan fuzzy jika-maka disusun berdasarkan data masukan dan keluaran. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *table lookup scheme*, dengan langkah – langkah sebagai berikut (Wang, 1997:153-156):

1. Mendefinisikan himpunan fuzzy untuk setiap domain dari setiap variabel fuzzy.
2. Melakukan fuzzifikasi untuk setiap pasang *input-output* data. Setiap nilai *input* maupun *output* dikategorikan menjadi suatu himpunan fuzzy. Penggolongan tersebut berdasarkan derajat keanggotaan terbesar. Setelah masing-masing nilai *input* dan *output* dikategorikan, maka akan didapat aturan-aturan.
3. Jika ada aturan yang memiliki antiseden sama tapi memiliki konsekuen yang berbeda, maka pilih aturan yang derajatnya terbesar.

Misalkan aturan *fuzzy*

*if  $x_{i,t-3}$  is  $A_1$  dan  $x_{i,t-2}$  is  $A_2$  dan  $x_{i,t-1}$  is  $A_2$  then  $y_{i,t}$  is  $A_4$*  maka

derajat aturan *fuzzy* tersebut adalah

$$\mu_{A_1}(x_{i,t-3}) \times \mu_{A_2}(x_{i,t-2}) \times \mu_{A_2}(x_{i,t-1}) \times \mu_{A_4}(y_{i,t})$$

4. Bentuk *fuzzy rule base* yang terdiri dari aturan-aturan yang diperoleh dari langkah (3).

#### **K. Fuzzy Inference Engine**

Inferensi *fuzzy* merupakan suatu pemetaan himpunan *fuzzy*  $A'$  di  $U$  ke suatu himpunan *fuzzy*  $B'$  di  $V$  (Wang, 1997: 94). Dengan kata lain, inferensi *fuzzy* merupakan proses pengolahan *input* berupa nilai *fuzzy* yang didapat dari *fuzzifier* dengan mengkombinasikan *fuzzy rule base* untuk memperoleh *output* berupa nilai *fuzzy* baru. Alat yang digunakan dalam proses *fuzzy inference* disebut *fuzzy inference engine*.

Terdapat beberapa *fuzzy inference engine*, 5 diantaranya adalah (Wang, 1997:97-99):

1. *Product Inference Engine*
2. *Minimum Inference Engine*
3. *Lukasiewicz Inference Engine*
4. *Zadeh Inference Engine*
5. *Dienes-Racher Inference Engine*

## L. Defuzzifier

Defuzzifikasi merupakan suatu pemetaan himpunan *fuzzy*  $B'$  di  $V$  ke nilai tegas  $y^* \in V$  (Wang, 1997: 108). Dengan kata lain, defuzzifikasi merupakan proses pengolahan nilai *fuzzy* yang didapat dari *Fuzzy Inference Engine* menjadi nilai tegas. Alat yang digunakan dalam defuzzifikasi disebut *defuzzifier*. Terdapat 3 *defuzzifier*, yaitu: Wang, 1997:109-112):

### 1. Center of Gravity Defuzzifier / Centroid

*Defuzzifier* ini solusi nilai tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat  $y^*$  daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan:

$$y^* = \frac{\int_V y\mu_{B'}(y)dy}{\int_V \mu_{B'}(y)dy}$$

dimana

$\int_v$  adalah integral biasa

$\mu_{B'}(y)$  adalah derajat keanggotaan setelah inferensi

### 2. Center Average Defuzzifier

Defuzzifikasi ini dapat digunakan jika output fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama. Metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Defuzzifikasi ini secara umum dirumuskan:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M y_c(\prod_{i=1}^n \mu_{Ai}(x_i))}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{Ai}(x_i))}$$

### 3. *Maximum Defuzzifier*

Defuzzifikasi ini dengan mengambil salah satu dari nilai-nilai variabel dimana himpunan bagian *fuzzy* memiliki nilai kebenaran maksimum sebagai nilai tegas bagi variabel *output*  $y^*$ . Terdapat 3 macam *maximum defuzzifier*, yaitu:

#### a. *Smallest of maxima*

Metode ini mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum untuk memperoleh bilangan tegas.

#### b. *Largest of maxima*

Metode ini mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum untuk memperoleh bilangan tegas.

#### c. *Mean of maxima*

Metode ini mengambil nilai rata-rata dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum untuk memperoleh bilangan tegas.

## M. Sistem *Fuzzy*

Sistem *fuzzy* merupakan sistem yang didasarkan pada aturan ataupun pengetahuan (Wang, 1997: 2). Beberapa hal yang perlu diketahui dalam sistem *fuzzy* adalah:

1. Variabel *fuzzy*, yaitu variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Misalkan harga CPO pada  $t - 2$ , harga CPO pada  $t - 1$ .
2. Himpunan *fuzzy*, yaitu suatu grup yang mewakili suatu kondisi tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Misalkan pada variabel *fuzzy* harga CPO  $t - 2$  dikategorikan menjadi 9 himpunan *fuzzy*, yaitu  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$ .
3. Semesta pembicaraan, yaitu interval nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan bilangan real yang senantiasa bertambah secara monoton. Misalkan semesta pembicaraan harga CPO  $t - 2$  adalah  $[5800 \ 11200]$ .
4. Domain, yaitu interval nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

Contoh:

$$A_1 = [5800 \ 6475]$$

$$A_2 = [5800 \ 7150]$$

$$A_3 = [6475 \ 7825]$$

$$A_4 = [7150 \ 8500]$$

$$A_5 = [7825 \ 9175]$$

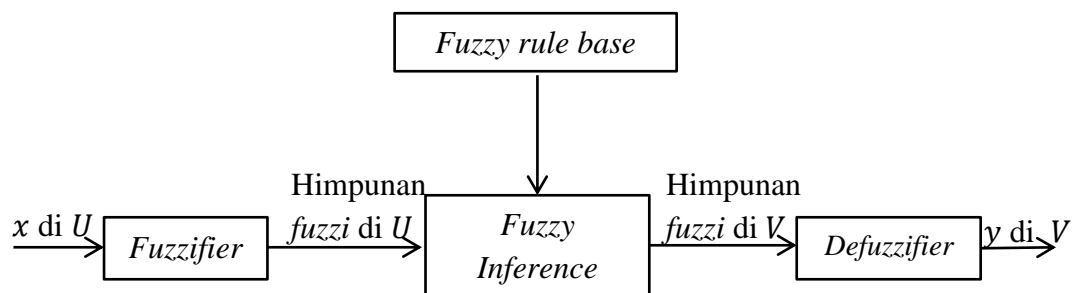
$$A_6 = [8500 \ 9850]$$

$$A_7 = [9175 \ 10525]$$

$$A_8 = [9850 \ 11200]$$

$$A_9 = [10525 \ 11200]$$

Secara sederhana, sistem *fuzzy* merupakan keseluruhan proses pengolahan *input* tegas menjadi *output* tegas menggunakan *fuzzifier*, *fuzzy rule base*, *fuzzy inference engine*, dan *defuzzifier*. Berikut bagan sistem *fuzzy* secara umum (Wang, 1997: 7):



**Gambar 2.14** Bagan Sistem *Fuzzy*

Terdapat beberapa sistem *fuzzy* yang sering digunakan, 2 diantaranya adalah:

a. Sistem *Fuzzy Mamdani*

Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, sering juga dikenal sebagai Metode *Min-max*. Terdapat 4 tahapan yang perlu dilakukan dalam mendapatkan *output*, yaitu (Sri Kusumadewi, 2003: 186-190):



1. Pembentukan himpunan *fuzzy* (fuzzifikasi)

Pada tahap ini, setiap variabel *input* maupun *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

Contoh: variabel *input* harga CPO pada  $t - 1$  dibagi menjadi 9 himpunan *fuzzy*, yaitu  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$ .

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada tahap ini setiap aturan diimplikasikan menggunakan fungsi implikasi *min*.

3. Komposisi aturan

Pada tahap ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum dari korelasi antar aturan aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator “atau” (gabungan). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

dengan

$\mu_{sf}$  = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}$  = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

#### 4. Penegasan (defuzzifikasi)

Tahap ini merupakan tahap akhir dalam suatu sistem *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan diolah menjadi himpunan tegas.

#### b. Sistem *Fuzzy Sugeno*

Sistem *Fuzzy Sugeno* memiliki penalaran yang hampir sama dengan Sistem *Fuzzy Mamdani*, hanya saja *output* yang dihasilkan berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Terdapat 2 model untuk metode sugeno, yaitu:

##### 1. Metode sugeno orde-0

Secara umum bentuk model *fuzzy* sugeno orde-0 adalah

$$\text{if } (x_i \text{ is } A_1) \diamond (x_2 \text{ is } A_2) \diamond \dots \diamond (x_i \text{ is } A_i) \text{ then } z = k$$

dengan,

$A_i$  = himpunan *fuzzy* ke- $i$  pada variabel  $x_i$

$k$  = konstanta tegas sebagai konsekuen

$\diamond$  = operator *fuzzy*

##### 2. Metode sugeno orde-1

Secara umum bentuk model *fuzzy* sugeno orde-1 adalah

$$\text{if } (x_i \text{ is } A_1) \diamond (x_2 \text{ is } A_2) \diamond \dots \diamond (x_i \text{ is } A_i) \text{ then } z = p_1x_1 + \dots + p_ix_i + q$$

dengan,

$A_i$  = himpunan *fuzzy* ke- $i$  pada variabel  $x_i$

$p_i$  = konstanta tegas ke- $i$  pada variabel  $x_i$

$q$  = konstanta tegas sebagai konsekuen

$\diamond$  = operator *fuzzy*

Apabila komposisi aturan menggunakan metode sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara menilai rata-ratanya.

#### N. Sistem *Fuzzy* untuk Data *Time Series*

Pemodelan *fuzzy* pada data *time series* merupakan pemodelan untuk memprediksi data di waktu yang akan datang berdasarkan data sebelumnya dengan menggunakan sistem *fuzzy*.

Misalkan  $\{x_1, x_2, \dots, x_t\}$  merupakan data *time series* yang akan digunakan dalam memprediksi. Menurut Wang (1997), data *time series* dapat dinyatakan sebagai  $[x_{t-n+1}, x_{t-n+2}, x_{t-n+3}, \dots, x_t]$ . Untuk menentukan  $x_{t+1}$  dengan cara menentukan pemetaan dari  $[x_{t-n+1}, x_{t-n+2}, x_{t-n+3}, \dots, x_t] \in R^n$  ke  $[x_{t+1}] \in R$ , dengan  $t$  dan  $n$  adalah bilangan bulat positif. Andaikan diberikan data *time series*  $x_1, x_2, \dots, x_t$  dengan  $k > n$ , maka di atas akan dibentuk  $t - n$  pasangan *input-output*, yaitu:

$$\begin{array}{c} [x_{t-n}, x_{t-n+1}, \dots, x_{t-1}; x_t] \\ [x_{t-n-1}, x_{t-n}, x_{t-2}; x_{t-1}] \\ \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ [x_1, x_2, \dots, x_n; x_{n+1}] \end{array}$$

Selanjutnya  $t - n$  pasang *input-output* tersebut digunakan untuk membentuk sistem *fuzzy*.

## O. MSE dan MAPE

Prediksi merupakan hal yang mengandung ketidakpastian, maka diperlukan suatu kriteria untuk menentukan kebaikan model prediksi. Kebaikan tersebut berdasarkan nilai *error* dari sebuah prediksi. *Error* adalah nilai yang didapat dengan mengurangkan nilai aktual dengan nilai prediksi. Persamaannya sebagai berikut (Hanke dan Winchern, 2005:79):

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

dengan

$e_i$  : *error* peramalan pada saat t ke- $i$

$Y_i$  : nilai aktual data ke- $i$

$\hat{Y}_i$  : nilai peramalan dari  $Y_i$

Terdapat beberapa kriteria untuk mengukur keakuratan suatu model, antara lain (Hanke dan Winchern, 2005:79):

### a. MSE (*Mean Square Error*)

MSE merupakan kriteria prediksi dengan mengkuadratkan setiap error dan dibagi sebanyak jumlah data. Kriteria ini memberikan nilai yang besar pada *error* yang besar dan nilai yang kecil untuk *error* yang kecil, karena masing-masing error dikuadratkan terlebih dahulu.

Adapun rumus untuk menghitung MSE adalah:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

dengan

$e_i$  : *error* ke- $i$

$n$  : banyaknya data

b. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*)

MAPE merupakan rata-rata dari keseluruhan persentase kesalahan antara data aktual dengan data prediksi. Ukuran akurasi dicocokkan dengan data *time series* dan ditunjukkan dalam persentase. Dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan banyaknya jumlah data. Persentase MAPE menyatakan besarnya tingkat kesalahan dalam suatu prediksi. Misalkan nilai MAPE 5% menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dalam memprediksi adalah 5%. Adapun rumus MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{Y_t}$$

dengan

$e_i$  : *error ke-i*

$n$  : banyaknya data

Kedua kriteria tersebut merupakan beberapa kriteria tolak ukur keakuratan suatu model. Model yang baik memiliki nilai MAPE dan MSE yang kecil. Semakin kecil nilai MSE dan MAPE maka keakuratan model semakin baik, sebaliknya jika nilai MSE dan MAPE semakin besar maka model semakin kurang akurat.

**P. Langkah-langkah pemodelan Sistem *Fuzzy Mamdani***

Langkah – langkah yang akan dilakukan untuk melakukan prediksi harga CPO menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi variabel *input* dan himpunan universalnya

*Input* yang digunakan pada penelitian ini adalah data harga CPO bulan-bulan sebelumnya, yaitu  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$  dan  $x_{t-1}$  dengan himpunan universal [5800 11200].

2. Mengidentifikasi variabel *output* dan himpunan universalnya

*Output* yang digunakan pada penelitian ini adalah harga CPO pada  $x_t$  dengan himpunan universal [5800 11200].

3. Menentukan himpunan *fuzzy input*

Himpunan tegas data input harus diubah menjadi himpunan *fuzzy* terlebih dahulu, agar dapat diolah oleh *fuzzy inference engine*. Untuk mengubah himpunan tegas menjadi himpunan *fuzzy* digunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan gauss dan segitiga. Banyak himpunan *fuzzy* pada input adalah 9, yaitu  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  dan  $A_9$ .

4. Menentukan himpunan *fuzzy output*

Himpunan *fuzzy* yang digunakan pada data output menggunakan fungsi keanggotaan gauss dan segitiga. Banyak himpunan *fuzzy* pada output adalah 9, yaitu  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  dan  $A_9$ .

5. Membuat *fuzzy rule base* menggunakan *table lookup scheme*

Tahap ini merupakan tahap pembuatan aturan menggunakan hubungan pasangan data *input-output*. Aturan-aturan yang didapat tersebut dihimpun menjadi suatu *fuzzy rule base* untuk diolah bersama nilai *fuzzy* menggunakan *fuzzy inference engine*.

#### 6. Melakukan inferensi

Proses inferensi pada Sistem *Fuzzy Mamdani* menggunakan fungsi implikasi *min*, dimana setiap aturan akan diimplikasikan dengan mengambil nilai minimum himpunan *fuzzy* aturan. Setelah nilai minimum untuk setiap aturan didapat, maka ambil nilai maksimum dari korelasi antar aturan tersebut, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan operator gabungan. Proses ini akan menghasilkan nilai *fuzzy* baru untuk kemudian diolah menggunakan *defuzzifier*.

#### 7. Melakukan defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap dimana nilai *fuzzy* yang didapat dari inferensi diubah menjadi nilai tegas. Defuzzifikasi tersebut menggunakan metode *centroid*, yaitu mengambil titik pusat  $y^*$  daerah *fuzzy* yang dihasilkan pada proses inferensi. Secara umum dirumuskan:

$$y^* = \frac{\int_V y \mu_{B'}(y) dy}{\int_V \mu_{B'}(y) dy}$$

dimana

$\int_V \dots dy$  adalah integral biasa

$\mu_{B'}(y)$  adalah derajat keanggotaan setelah inferensi

#### 8. Menentukan MAPE dan MSE sebagai pengukur besarnya kesalahan suatu model

### **BAB III**

#### **PEMBAHASAN**

Sistem *fuzzy* telah diaplikasikan ke berbagai bidang, baik kontrol, *signal processing*, komunikasi, pengobatan, psikologi, bisnis dan sebagainya. Dalam bidang bisnis, sistem *fuzzy* dapat digunakan sebagai alat prediksi yang akurat. Investasi CPO merupakan salah satu peluang bisnis yang menjanjikan, untuk itu perlu adanya suatu model yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam memprediksi sebagai bentuk strategi pengambil kebijakan untuk mendapat keuntungan yang optimal. Penelitian ini mengambil data *time series* sebagai variabel yang digunakan dalam memprediksi, berjumlah 60 data, yaitu data harga kelapa sawit per bulan pada Januari 2009 hingga Desember 2013 yang diakses melalui [www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com) pada tanggal 20 Februari 2014 (data selengkapnya disajikan pada lampiran 2). Sebelum melakukan pemodelan, data dibagi menjadi 2 terlebih dahulu, yaitu *training data* (TRD) dan *checking data* (CHD). Pembagian data yang digunakan adalah 80% TRD dan 20% CHD. TRD digunakan sebagai proses pembelajaran dan CHD digunakan sebagai pengujian (TRD dan CHD secara lengkap disajikan pada lampiran 3 dan 4). Selanjutnya TRD dan CHD tersebut dipasangkan menjadi pasangan *input-output* data sesuai banyaknya *input* yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* dengan beberapa *input* dan fungsi keanggotaan. Pemilihan Sistem *Fuzzy Mamdani* karena bersifat intuitif, mencakup bidang yang luas, dan sesuai dengan proses *input* informasi manusia. Salah satu alasan sistem penalaran Mamdani lebih dapat



diterima pola pikir manusia karena fungsi implikasi antara antiseden dengan konsekuen sama-sama dalam himpunan *fuzzy*. Berikut pemodelan Sistem *Fuzzy Mamdani* yang digunakan:

1. Model 1

*Input* yang digunakan sebanyak 1 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga.

2. Model 2

*Input* yang digunakan sebanyak 1 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan gauss.

3. Model 3

*Input* yang digunakan sebanyak 2 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga.

4. Model 4

*Input* yang digunakan sebanyak 2 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan gauss.

5. Model 5

*Input* yang digunakan sebanyak 3 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$ ,  $t - 2$  dan  $t - 3$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga.

6. Model 6

*Input* yang digunakan sebanyak 3 variabel, yaitu harga CPO pada  $t - 1$ ,  $t - 2$  dan  $t - 3$  dengan menggunakan fungsi keanggotaan gauss.

Selanjutnya pada penelitian ini, model yang akan dibahas secara *manual* hanya pada model-5. Model lainnya merupakan pengembangan dengan proses perhitungan yang analog. Perhitungan model yang lain akan dibantu dengan program MATLAB.

Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk memprediksi harga CPO pada model-5 adalah:

1. Mengidentifikasi variabel *input* dan himpunan universalnya

Variabel *input* pada penelitian ini adalah data harga CPO pada bulan-bulan sebelumnya. Untuk model-5, data yang diambil adalah data pada waktu  $t-3, t-2$  dan  $t-1$ , dinyatakan berturut-turut sebagai  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$  dan  $x_{t-1}$ . Himpunan universal  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$  dan  $x_{t-1}$  adalah [5800 11200].

2. Mengidentifikasi variabel *output* dan himpunan universalnya

Variabel *output* yang dipakai dalam model-5 adalah harga CPO pada  $t$  dan dinyatakan sebagai  $x_t$ . Himpunan universal  $x_t$  adalah [5800 11200].

3. Menentukan himpunan *fuzzy input*

Data *input*  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$  dan  $x_{t-1}$  menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan himpunan *fuzzy* sebanyak 9, sebagai berikut:

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} \frac{6475-x}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ 0 ; x \geq 6475 \end{cases}$$

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} \frac{x-5800}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{7150-x}{675} ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ 0 ; x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \end{cases}$$

$$\mu_{A_3}(x) = \begin{cases} \frac{x-6475}{675} ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ \frac{7825-x}{675} ; 7150 \leq x \leq 7825 \\ 0 ; x \leq 6475 \text{ atau } x \geq 7825 \end{cases}$$

$$\mu_{A_4}(x) = \begin{cases} \frac{x-7150}{675} ; 7150 \leq x \leq 7825 \\ \frac{8500-x}{675} ; 7825 \leq x \leq 8500 \\ 0 ; x \leq 7150 \text{ atau } x \geq 8500 \end{cases}$$

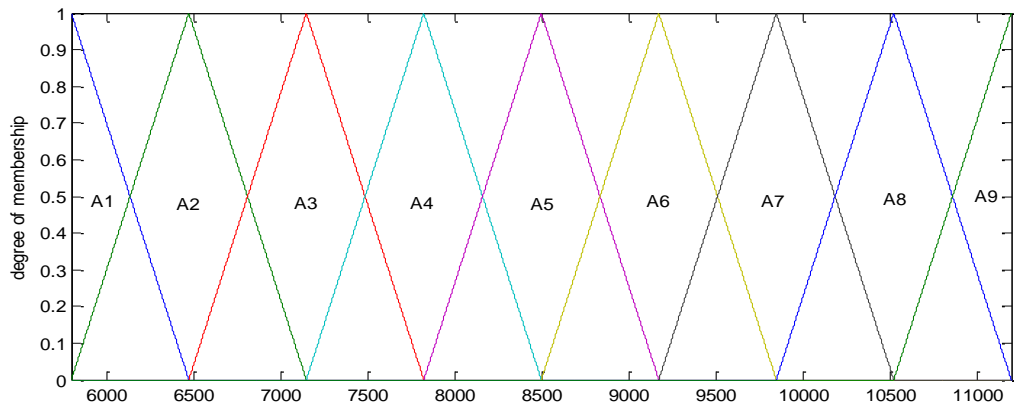
$$\mu_{A_5}(x) = \begin{cases} \frac{x-7825}{675} ; 7825 \leq x \leq 8500 \\ \frac{9175-x}{675} ; 8500 \leq x \leq 9175 \\ 0 ; x \leq 7825 \text{ atau } x \geq 9175 \end{cases}$$

$$\mu_{A_6}(x) = \begin{cases} \frac{x-8500}{675} ; 8500 \leq x \leq 9175 \\ \frac{9850-x}{675} ; 9175 \leq x \leq 9850 \\ 0 ; x \leq 8500 \text{ atau } x \geq 9850 \end{cases}$$

$$\mu_{A_7}(x) = \begin{cases} \frac{x-9175}{675} ; 9175 \leq x \leq 9850 \\ \frac{10525-x}{675} ; 9850 \leq x \leq 10525 \\ 0 ; x \leq 9175 \text{ atau } x \geq 10525 \end{cases}$$

$$\mu_{A_8}(x) = \begin{cases} \frac{x-9850}{675} ; 9850 \leq x \leq 10525 \\ \frac{11200-x}{675} ; 10525 \leq x \leq 11200 \\ 0 ; x \leq 9850 \text{ atau } x \geq 11200 \end{cases}$$

$$\mu_{A_9}(x) = \begin{cases} \frac{x-10525}{675} ; 10525 \leq x \leq 11200 \\ 0 ; x \leq 10525 \end{cases}$$



**Gambar 3.1** Fungsi Keanggotaan *input* pada Model-5

4. Menentukan himpunan *fuzzy output*

Output pada model ini adalah berupa harga CPO pada  $(x_t)$ , dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} \frac{6475-x}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ 0 ; x \geq 6475 \end{cases}$$

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} \frac{x-5800}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{7150-x}{675} ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ 0 ; x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \end{cases}$$

$$\mu_{A_3}(x) = \begin{cases} \frac{x-6475}{675} ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ \frac{7825-x}{675} ; 7150 \leq x \leq 7825 \\ 0 ; x \leq 6475 \text{ atau } x \geq 7825 \end{cases}$$

$$\mu_{A_4}(x) = \begin{cases} \frac{x-7150}{675} ; 7150 \leq x \leq 7825 \\ \frac{8500-x}{675} ; 7825 \leq x \leq 8500 \\ 0 ; x \leq 7150 \text{ atau } x \geq 8500 \end{cases}$$

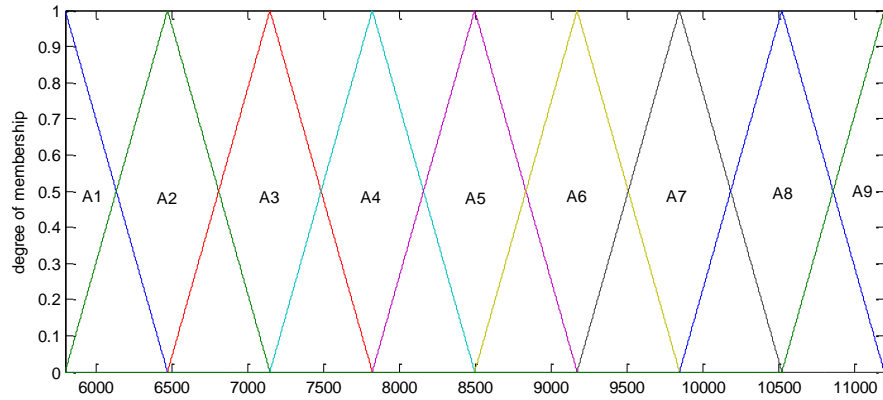
$$\mu_{A_5}(x) = \begin{cases} \frac{x-7825}{675} ; 7825 \leq x \leq 8500 \\ \frac{9175-x}{675} ; 8500 \leq x \leq 9175 \\ 0 ; x \leq 7825 \text{ atau } x \geq 9175 \end{cases}$$

$$\mu_{A_6}(x) = \begin{cases} \frac{x-8500}{675} ; 8500 \leq x \leq 9175 \\ \frac{9850-x}{675} ; 9175 \leq x \leq 9850 \\ 0 ; x \leq 8500 \text{ atau } x \geq 9850 \end{cases}$$

$$\mu_{A_7}(x) = \begin{cases} \frac{x-9175}{675} ; 9175 \leq x \leq 9850 \\ \frac{9850-x}{675} ; 9850 \leq x \leq 10525 \\ 0 ; x \leq 9175 \text{ atau } x \geq 10525 \end{cases}$$

$$\mu_{A_8}(x) = \begin{cases} \frac{x-9850}{675} ; 9850 \leq x \leq 10525 \\ \frac{10525-x}{675} ; 10525 \leq x \leq 11200 \\ 0 ; x \leq 9850 \text{ atau } x \geq 11200 \end{cases}$$

$$\mu_{A_9}(x) = \begin{cases} \frac{x-10525}{675} ; 10525 \leq x \leq 11200 \\ 0 ; x \leq 10525 \end{cases}$$



**Gambar 3.2** Fungsi Keanggotaan *output* pada Model-5

5. Menentukan *fuzzy rule base* menggunakan *table lookup scheme*

*Fuzzy rule base* merupakan otak dalam suatu sistem *fuzzy*. *Fuzzy rule base* dibentuk berdasarkan keterkaitan antar himpunan, baik himpunan pada *input* maupun *output*. Pada model-5, *input* yang digunakan sebanyak 3, sehingga akan dibentuk  $t - n = 48 - 3 = 45$  pasang *input-output* TRD, yaitu (data selengkapnya disajikan pada lampiran 5):

$$[x_{45}, x_{46}, x_{47}; x_{48}]$$

$$[x_{44}, x_{45}, x_{46}; x_{47}]$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$[x_1, x_2, x_3; x_4]$$

Untuk mendapat *fuzzy rule base* digunakan *table lookup scheme* dengan langkah sebagai berikut:

- a) Mendefinisikan himpunan *fuzzy* untuk setiap domain dari setiap variabel *fuzzy*.

Pada langkah 1-4, telah didefinisikan himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel *fuzzy*.

- b) Melakukan fuzzifikasi untuk setiap pasang *input-output* data.

Fuzzifikasi merupakan proses pengubahan nilai tegas menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Berdasarkan a) nilai tegas pasangan *input-output* data diubah menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan segitiga. Misalkan pada pasangan data  $x_1, x_2, x_3; x_4$ .  $x_1$  dengan nilai 5830.959 merupakan anggota domain himpunan *fuzzy*  $A_1$  dan  $A_2$ , sehingga derajat keanggotaan 5830.959 ditentukan melalui fungsi keanggotaan segitiga pada himpunan *fuzzy*  $A_1$  dan  $A_2$ , yaitu :

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} \frac{6475-x}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ 0 ; x \geq 6475 \end{cases}$$

$$\mu_{A_2}(x) = \begin{cases} \frac{x-5800}{675} ; 5800 \leq x \leq 6475 \\ \frac{7150-x}{675} ; 6475 \leq x \leq 7150 \\ 0 ; x \leq 5800 \text{ atau } x \geq 7150 \end{cases}$$

Derajat keanggotaan 5830.959 pada himpunan *fuzzy*  $A_1$  adalah

$$\mu_{A_1}(x) = \frac{6475-x}{675}$$

$$\mu_{A_1}(5830.959) = \frac{6475-5830.959}{675} = 0.954$$

Derajat keanggotaan 5830.959 pada himpunan *fuzzy*  $A_2$  adalah

$$\mu_{A_2}(x) = \frac{x-5800}{675}$$

$$\mu_{A_2}(5830.959) = \frac{5830.959-5800}{675} = 0.046$$

Selanjutnya fuzzifikasi dilakukan untuk semua pasangan data

$x_1, x_2, x_3; x_4$  seperti tabel berikut:

**Tabel 3.1** Fuzzifikasi Data  $x_1, x_2, x_3; x_4$  pada Model-5

Variabel	Nilai	Derajat Keanggotaan								
$x_{t-3} = x_1$	5830.959	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0.954	0.046	0	0	0	0	0	0	0
$x_{t-2} = x_2$	6274.846	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0.297	0.703	0	0	0	0	0	0	0
$x_{t-1} = x_3$	6602.688	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.811	0.189	0	0	0	0	0	0
$x_t = x_4$	7642.71	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0	0.27	0.73	0	0	0	0	0

Tabel 3.1 memperlihatkan bahwa  $x_1$  memiliki 2 derajat keanggotaan yang tidak nol, yaitu 0.954 dan 0.046. Pilih derajat keanggotaan terbesar, dan masukkan  $x_1$  sebagai anggota himpunan dengan derajat keanggotaan terbesar, yaitu  $A_1$ , begitu pula dengan  $x_2, x_3$  dan  $x_4$ , sehingga akan dihasilkan aturan sebagai berikut:

" jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_1$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_2$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_2$  maka  $x_t$  adalah  $A_4$ "

Tahap ini akan dihasilkan aturan sebanyak pasangan *input-output* data, yaitu sebanyak 45.

- c) Jika ada aturan yang memiliki antiseden sama tetapi memiliki konsekuen yang berbeda, maka pilih aturan yang derajatnya terbesar.

Aturan yang terbentuk pada langkah-b perlu diseleksi lagi karena pada prakteknya akan didapat aturan yang memiliki antiseden sama tetapi memiliki konsekuen yang berbeda. Jika hal tersebut terjadi, maka pilihlah aturan dengan derajat terbesar. Aturan dengan derajat terbesar diperoleh dari perkalian masing-masing derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* aturan. Misalkan pada pasangan data  $x_{14}, x_{15}, x_{16}; x_{17}$  dan  $x_{17}, x_{18}, x_{19}; x_{20}$ .

**Tabel 3.2** Fuzzifikasi Data  $x_{14}, x_{15}, x_{16}; x_{17}$  pada Model-5

Variabel	Nilai	Derajat Keanggotaan								
$x_{t-3} = x_{14}$	7051.044	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.147	0.853	0	0	0	0	0	0
$x_{t-2} = x_{15}$	7284.864	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0	0.8	0.2	0	0	0	0	0
$x_{t-1} = x_{16}$	7208.597	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0	0.913	0.08	0	0	0	0	0
$x_t = x_{17}$	7122.361	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.041	0.959	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan tabel 3.2 didapat aturan sebagai berikut:

*jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_3$*

*maka  $x_t$  adalah  $A_3$  . Derajat keanggotaan aturan tersebut adalah:*

$$0.853 \times 0.8 \times 0.913 \times 0.959 = 0.597$$



**Tabel 3.3** Fuzzifikasi Data  $x_{17}, x_{18}, x_{19}; x_{20}$  Model-5

Variabel	Nilai	Derajat Keanggotaan								
$x_{t-3} = x_{17}$	7122.361	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.041	0.959	0	0	0	0	0	0
$x_{t-2} = x_{18}$	6997.675	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.226	0.774	0	0	0	0	0	0
$x_{t-1} = x_{19}$	7012.168	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0.224	0.796	0	0	0	0	0	0
$x_t = x_{20}$	7762.638	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
		0	0	0.092	0.908	0	0	0	0	0

Berdasarkan tabel 3.3, didapat aturan sebagai berikut

*jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_3$*

*maka  $x_t$  adalah  $A_4$ .* Derajat keanggotaan aturan tersebut adalah:

$$0.959 \times 0.774 \times 0.796 \times 0.908 = 0.536.$$

Kedua aturan tersebut menunjukkan bahwa keduanya memiliki bagian antiseden yang sama tetapi memiliki bagian konsekuen yang berbeda. Sehingga harus dipilih aturan dengan derajaa keanggotaan terbesar, yaitu

*jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_3$*

*maka  $x_t$  adalah  $A_3$ .*

- d) Bentuk *fuzzy rule base* yang terdiri dari aturan-aturan yang didapat pada langkah (c).

Setelah dilakukan penyeleksian terhadap aturan-aturan, maka terbentuk 38 aturan dari 45 TRD, antara lain (aturan selengkapnya dilampirkan pada lampiran 6):

1. Jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_1$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_2$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_2$

maka  $x_t$  adalah  $A_4$

2. Jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_1$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_3$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_2$

maka  $x_t$  adalah  $A_1$

3. Jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_1$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_2$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_3$

maka  $x_t$  adalah  $A_3$

4. Jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_2$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_2$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_4$

maka  $x_t$  adalah  $A_4$

...

...

...

38. Jika  $x_{t-3}$  adalah  $A_9$  dan  $x_{t-2}$  adalah  $A_7$  dan  $x_{t-1}$  adalah  $A_7$

maka  $x_t$  adalah  $A_7$

#### 6. Melakukan inferensi

Inferensi yang digunakan untuk prediksi harga CPO yaitu Inferensi Mamdani karena lebih intuitif dan diterima banyak pihak. Inferensi Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan komposisi antar aturan max. Pada fungsi implikasi min akan diambil nilai minimum himpunan *fuzzy* dari setiap aturan yang digunakan. Fungsi implikasi untuk data ke-1 disajikan sebagai berikut (tabel lengkapnya disajikan pada lampiran 7):

**Tabel 3.4** Fungsi Implikasi Min Data 1 Model-5

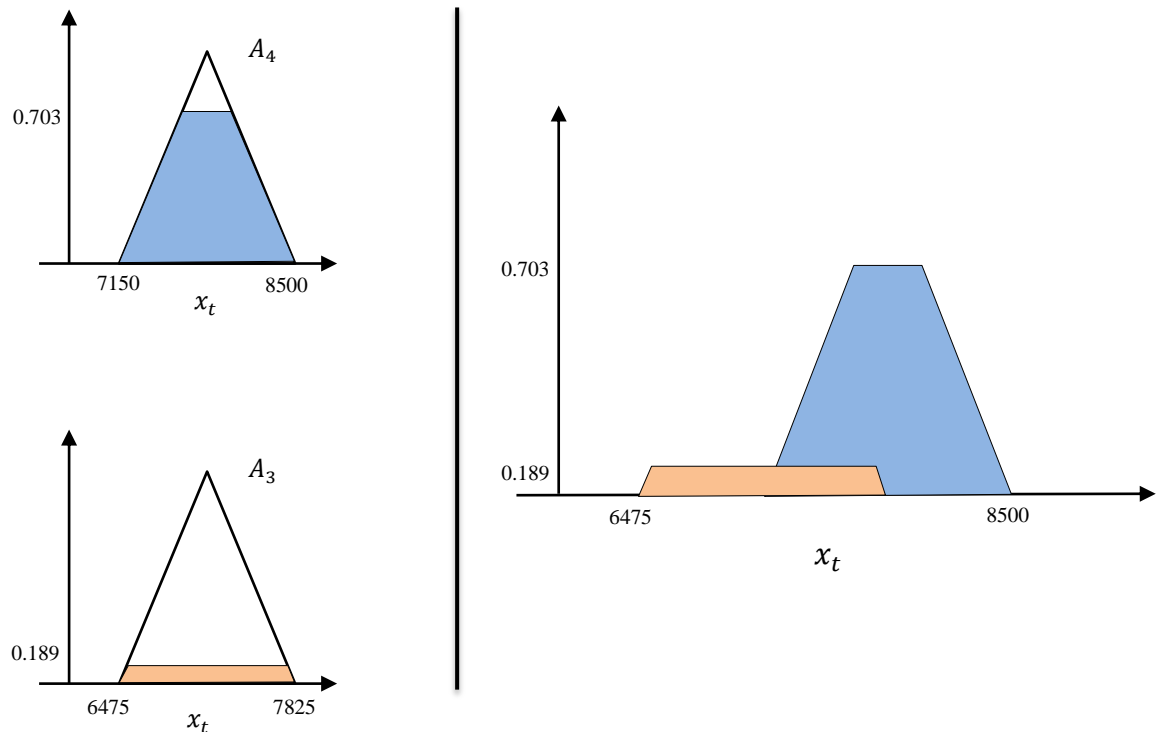
Aturan ke-	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	Hasil Implikasi
1	0.954	0	0.811	0
2	0	0	0.189	0
3	0	0.297	0.189	0
4	0	0.703	0	0
5	0.954	0.703	0.189	0.189
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0

Setelah proses implikasi, dilakukan komposisi aturan *max* yaitu dengan mengambil nilai maksimum dari implikasi *min* yang didapat, kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator gabungan. Komposisi aturan pada data ke-1 disajikan pada tabel berikut (tabel lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8):

**Tabel 3.5** Komposisi Aturan Data 1 Model-5

Aturan ke	Hasil Fungsi Implikasi	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
1	0	0								
2	0									
3	0		0							
4	0									
...	...									
...	...									
...	...									
37	0									0
38	0									

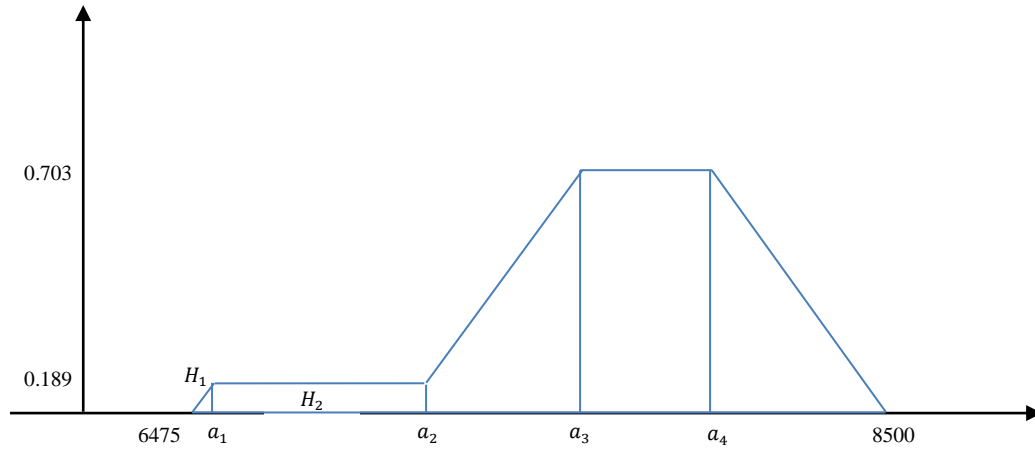
Hasil komposisi aturan data ke-1 adalah 0.703 pada himpunan *fuzzy*  $A_4$  dan 0.189 pada himpunan *fuzzy*  $A_3$ . Kemudian komposisi ini dimodifikasi menjadi suatu daerah *fuzzy* dengan menggunakan operator gabungan. Ilustrasinya disajikan pada gambar berikut:



**Gambar 3.3** Proses Komposisi Max dengan Operator Gabungan

Selanjutnya akan ditentukan fungsi keanggotaan daerah *fuzzy* yang telah diperoleh, yaitu dengan cara sebagai berikut:

Bagi daerah hasil menjadi 4 bagian, yaitu  $H_1, H_2, H_3, H_4$  dan  $H_5$ . Seperti pada gambar berikut:



**Gambar 3.4** Hasil Komposisi Aturan Data 1

Kemudian akan ditentukan nilai  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  dan  $a_4$

a. Untuk  $a_1$

$a_1$  berada pada himpunan  $A_3$ , maka

$$\mu_{A_3}(a_1) = \frac{a_1 - 6475}{675}$$

$$0.189 = \frac{a_1 - 6475}{675}$$

$$a_1 = 6602.575$$

b. Untuk  $a_2$

$a_2$  berada pada himpunan  $A_4$ , maka

$$\mu_{A_3}(a_2) = \frac{a_2 - 7150}{675}$$

$$0.189 = \frac{7825 - a_2}{675}$$

$$a_2 = 7277.575$$

c. Untuk  $a_3$

$a_3$  berada pada himpunan  $A_4$ , maka

$$\mu_{A_4}(a_3) = \frac{a_3 - 7150}{675}$$

$$0.703 = \frac{a_3 - 7150}{675}$$

$$a_3 = 7624.53$$

d. Untuk  $a_4$

$a_4$  berada pada himpunan  $A_4$ , maka

$$\mu_{A_4}(a_4) = \frac{8500 - a_4}{675}$$

$$0.703 = \frac{a_4 - 8025.475}{675}$$

$$a_4 = 8025.475$$

Maka fungsi keanggotaan daerah hasil tersebut adalah:

$$\mu(y) = \begin{cases} \frac{y - 6475}{675} & ; 6475 \leq y \leq 6602.575 \\ 0.189 & ; 6602.575 \leq y \leq 7277.575 \\ \frac{y - 7150}{675} & ; 7277.575 \leq y \leq 7624.53 \\ 0.703 & ; 7624.53 \leq y \leq 8025.475 \\ \frac{8500 - y}{675} & ; 8025.475 \leq y \leq 8500 \end{cases}$$

## 6. Melakukan defuzzifikasi

Himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari proses inferensi akan diolah kembali menggunakan *defuzzifier* untuk dijadikan bilangan tegas. Bilangan tegas yang akan diperoleh, merupakan hasil peramalan harga CPO pada  $x_t$ . *Defuzzifier* yang digunakan pada sistem *fuzzy* prediksi harga CPO adalah *defuzzifier* centroid dengan rumusnya, yaitu:

$$y^* = \frac{\int_V y \mu_{B'}(y) dy}{\int_V \mu_{B'}(y) dy}$$

dengan

$\mu_{B'}(y)$  adalah fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* setelah inferensi

$$y^* =$$

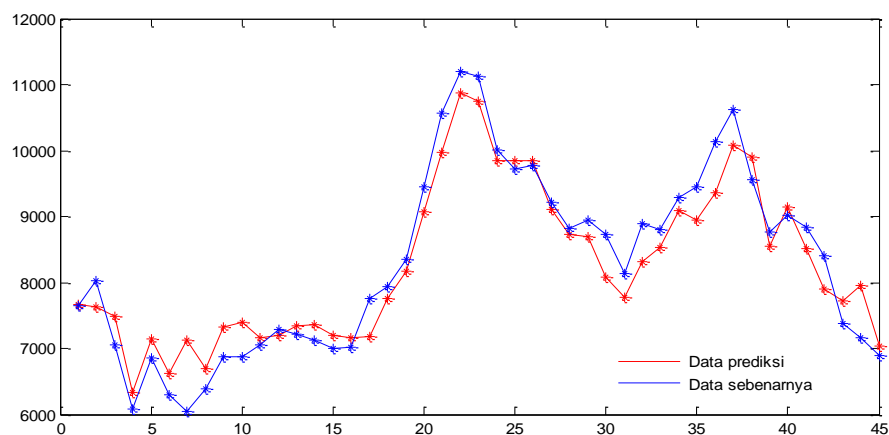
$$\frac{\int_{6475}^{6602.575} y \left( \frac{y-6475}{675} \right) dy + \int_{6602.575}^{7277.575} y(0.189) dy + \int_{7277.575}^{7624.53} y \left( \frac{y-7150}{675} \right) dy + \int_{7624.53}^{8025.475} y(0.703) dy + \int_{8025.475}^{8500} y \left( \frac{8500-y}{675} \right) dy}{\int_{6475}^{6602.575} \left( \frac{y-6475}{675} \right) dy + \int_{6602.575}^{7277.575} (0.189) dy + \int_{7277.575}^{7624.53} \left( \frac{y-7150}{675} \right) dy + \int_{7624.53}^{8025.475} (0.703) dy + \int_{8025.475}^{8500} \left( \frac{8500-y}{675} \right) dy}$$

$$y^* = \frac{79086.897 + 885380.068 + 1158156.0747 + 2205589.126 + 1364996.3}{12.056 + 127.575 + 154.743 + 281.864 + 166.796}$$

$$y^* = 7662.111$$

Jadi berdasarkan data-1 didapat bahwa prediksi harga CPO untuk bulan berikutnya ( $x_4 = x_t$ ) adalah 7662.111.

Proses perhitungan untuk data ke-1 hingga data ke-45 dilakukan secara analog. Selanjutnya proses perhitungan dibantu oleh program MATLAB dengan menginputkan *script* pada M-file. Setelah program M-file dijalankan akan didapat *output* berupa data prediksi sebanyak 45 data (data prediksi tersebut dapat dilihat pada lampiran 9). Berikut plot data prediksi dengan data sebenarnya pada model-5:



**Gambar 3.5** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-5

7. Menentukan MSE dan MAPE sebagai pengukur besarnya kesalahan suatu model.

Berdasarkan data prediksi yang didapat, maka akan ditentukan sejauh mana keakuratan model dengan kriteria sebagai berikut:

a. MSE

Untuk menentukan nilai MSE maka akan dihitung jumlah kuadrat *error* untuk semua data. Perhitungannya disajikan pada tabel berikut (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 10):

**Tabel 3.6** Jumlah Kuadrat Error TRD Model-5

No	$x_t = y$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi	$e_i^2$
1	7642.71	7661.135	339.48
2	8027.179	7613.667	170991.85
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
44	7155.774	8001.039	714473.02
45	6886.586	7020.618	17964.50
$\sum_{i=1}^{45} e_i^2$			6595991.75

Setelah jumlah kuadrat *error* didapat, maka bagi nilai kuadrat *error* tersebut dengan banyaknya jumlah data. Sehingga nilai MSE pada model-5 adalah:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

$$MSE = \frac{1}{45} \sum_{i=1}^{45} e_i^2$$

$$MSE = \frac{6595991.75}{45} = 146577.6$$



b. MAPE

Untuk menentukan nilai MAPE, maka akan dihitung jumlah nilai absolut *error* untuk semua data, kemudian bagi nilai absolut *error* tersebut dengan banyaknya jumlah data. Perhitungannya disajikan pada tabel berikut (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 10):

**Tabel 3.7** Jumlah Nilai Absolut Error TRD Model-5

No	$x_t = y$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi	$\frac{ y-y^* }{y} \times 100\%$
1	7642.71	7661.135	0.24
2	8027.179	7613.667	5.15
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
44	7155.774	8001.039	11.81
45	6886.586	7020.618	1.95
$\sum_{i=1}^{45} \frac{ y_i - y_i^* }{y_i} \times 100\%$			172.14

Maka nilai MAPE pada model-5 adalah:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_i^*|}{y_i} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{1}{45} \sum_{i=1}^{45} \frac{|y_i - y_i^*|}{y_i} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{1}{45} (172.14)$$

$$MAPE = 3.825\%$$

Pada model-5, dengan *input* sebanyak 3 variabel dan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga diperoleh nilai MSE dan MAPE TRD berturut-turut 146577.6 dan 3.825%. Nilai MAPE menunjukkan bahwa tingkat

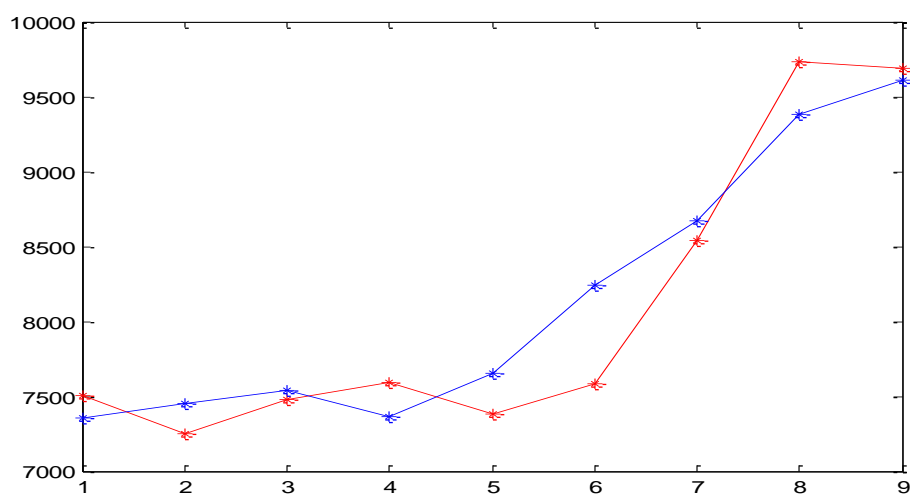
kesalahan memprediksi pada TRD adalah 3.825%. Setelah prediksi menggunakan TRD selesai, selanjutnya sistem yang telah dibuat pada TRD diaplikasikan ke CHD untuk mengukur sejauh mana kebaikan sistem yang telah dibuat. Model dengan sistem terbaik adalah model dengan MSE dan MAPE terkecil pada CHD. Berikut hasil prediksi harga CPO pada CHD menggunakan model-5:

**Tabel 3.8** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-5

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_{t-3}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7495.415	7355.852	7508.723
2	7676.666	7495.415	7355.852	7450.153	7245.794
3	7495.415	7355.852	7450.153	7540	7477.426
4	7355.852	7450.153	7540	7361.09	7589.681
5	7450.153	7540	7361.09	7654.323	7379.471
6	7540	7361.09	7654.323	8241.115	7583.406
7	7361.09	7654.323	8241.115	8668.629	8541.67
8	7654.323	8241.115	8668.629	9379.448	9733.362
9	8241.115	8668.629	9379.448	9612.517	9686.573

Dengan nilai MSE dan MAPE yaitu, 357564.402 dan 6.913 %.

Berikut plot CHD prediksi dengan CHD sebenarnya model-5:



**Gambar 3.6** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-5

Selanjutnya proses perhitungan pada pemodelan 1,2,3,4 dan 6 dilakukan menggunakan program MATLAB. Proses perhitungan dilakukan dengan cara menginputkan *script* pada M-file. Setelah M-file dijalankan akan didapat data prediksi, grafik beserta nilai MSE dan MAPE.

Berikut hasil pemodelan menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani* pada prediksi harga CPO:

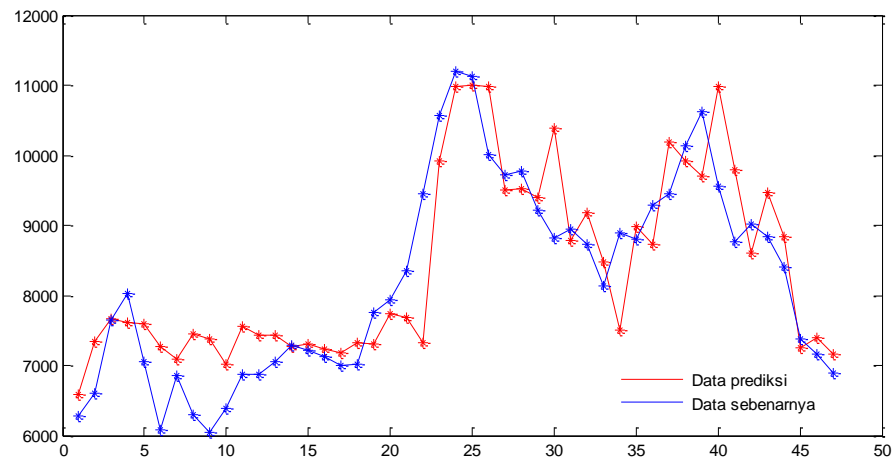
#### 1. Model-1

Model-1 adalah model yang menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan 1 variabel *input* berupa harga CPO 1 bulan sebelumnya ( $x_{t-1}$ ). Data harga CPO tersebut akan dipasangkan sebanyak  $t - n = 48 - 1 = 47$  pasang *input-output* TRD. Kemudian dari pasangan data tersebut diperoleh aturan sebanyak 9 aturan (aturan selengkapnya disajikan pada lampiran 12). Berikut hasil prediksi harga CPO TRD model-1 (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 13):

**Tabel 3.9** TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-1

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6584.516417
2	6274.846	6602.688	7344.286034
3	6602.688	7642.71	7668.582941
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
46	7371.117	7155.774	7391.573145
47	7155.774	6886.586	7158.129497

Dengan nilai MAPE dan MSE yaitu, 519336.67 dan 6,89 %. Berikut plot TRD prediksi dengan TRD sebenarnya model-1:



**Gambar 3.7** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-1

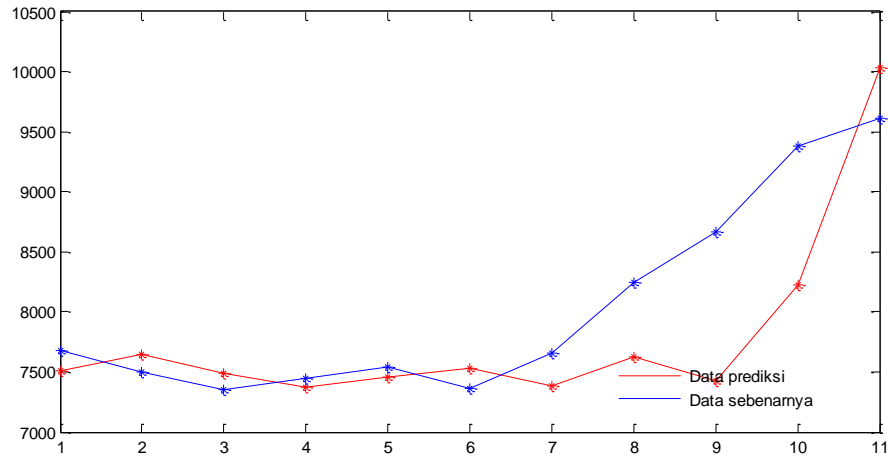
Setelah sistem TRD terbentuk, maka sistem tersebut diaplikasikan ke CHD. Berikut data hasil prediksi pada CHD model-1:

**Tabel 3.10** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-1

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7514.006
2	7676.666	7495.415	7648.328
3	7495.415	7355.852	7493.199
4	7355.852	7450.153	7378.223
5	7450.153	7540	7456.843
6	7540	7361.09	7529.065
7	7361.09	7654.323	7382.901
8	7654.323	8241.115	7627.29
9	8241.115	8668.629	7423.258
10	8668.629	9379.448	8221.479
11	9379.448	9612.517	10037.3

Dengan nilai MSE dan MAPE yaitu, 330158.405 dan 4.773 %.

Berikut plot CHD prediksi dengan CHD sebenarnya model-1:



**Gambar 3.8** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-1

## 2. Model-2

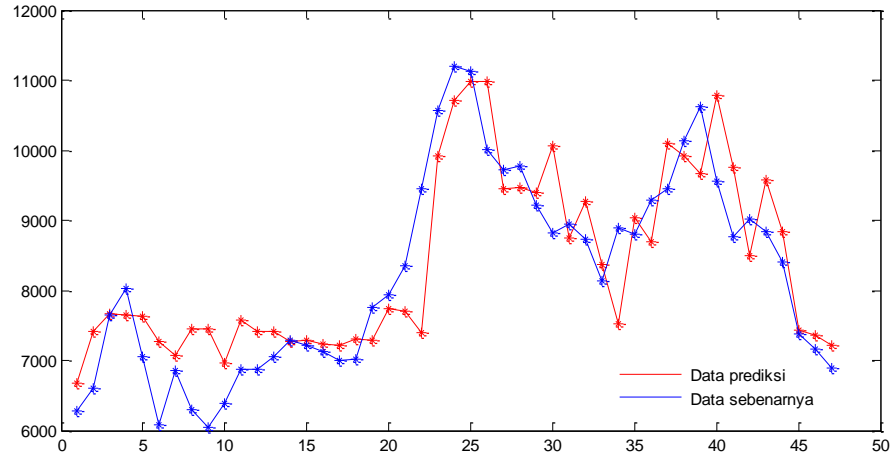
Model-2 adalah model yang menggunakan fungsi keanggotaan gauss dengan 1 variabel *input* berupa harga CPO 1 bulan sebelumnya ( $x_{t-1}$ ). Data harga CPO tersebut akan dipasangkan sebanyak  $t - n = 48 - 1 = 47$  pasang *input-output* TRD. Kemudian dari pasangan data tersebut diperoleh aturan sebanyak 9 aturan (aturan selengkapnya disajikan pada lampiran 14). Berikut hasil prediksi TRD model-2 (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 15):

**Tabel 3.11** TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-2

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6667.419
2	6274.846	6602.688	7406.493
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
46	7371.117	7155.774	7364.96
47	7155.774	6886.586	7214.682

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 496486.092 dan 6.913 %.

Berikut plot TRD sebenarnya dengan TRD prediksi model-2:



**Gambar 3.9** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-2

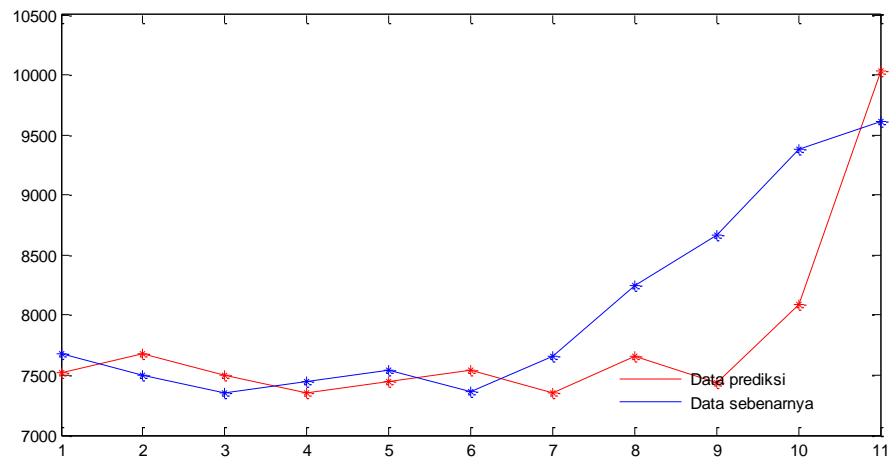
Setelah sistem TRD terbentuk, maka sistem tersebut diaplikasikan ke CHD. Berikut data hasil prediksi pada CHD model-2:

**Tabel 3.12** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-2

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7524.788
2	7676.666	7495.415	7673.763
3	7495.415	7355.852	7496.265
4	7355.852	7450.153	7350.488
5	7450.153	7540	7446.368
6	7540	7361.09	7544.944
7	7361.09	7654.323	7355.459
8	7654.323	8241.115	7655.721
9	8241.115	8668.629	7432.12
10	8668.629	9379.448	8087.288
11	9379.448	9612.517	10031.41

Dengan nilai MSE dan MAPE yaitu, 357564.402 dan 6.913 %.

Berikut plot CHD prediksi dengan CHD sebenarnya model-2:



**Gambar 3.10** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-2

### 3. Model-3

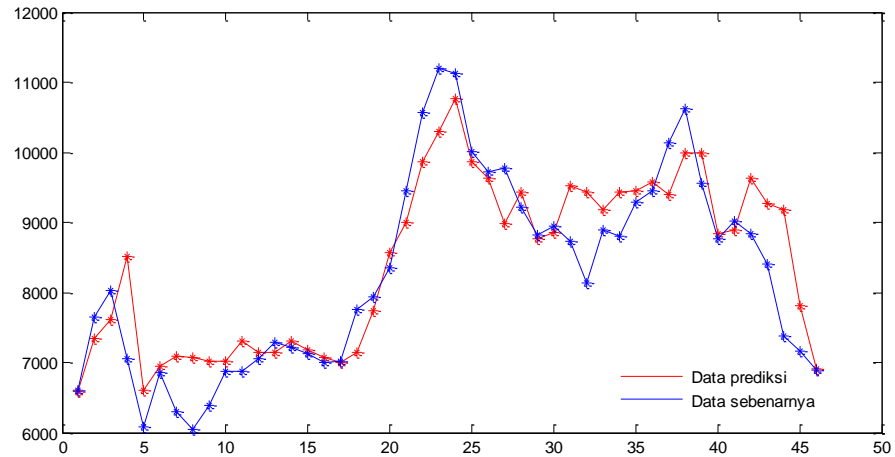
Model-3 adalah model yang menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan 2 variabel *input* berupa harga CPO pada 2 bulan sebelumnya ( $x_{t-1}$ ) dan ( $x_{t-2}$ ). Data harga CPO tersebut akan dipasangkan sebanyak  $t - n = 48 - 2 = 46$  pasang *input-output* TRD. Kemudian dari pasangan data tersebut diperoleh aturan sebanyak 29 aturan (aturan selengkapnya disajikan pada lampiran 16). Berikut hasil prediksi TRD model-3 (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 17):

**Tabel 3.13** TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-3

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6274.846	6667.419
2	6274.846	6602.688	6602.688	7406.493
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
45	8413.028	7371.117	7371.117	7430.332
46	7371.117	7155.774	7155.774	7364.96

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 365679.697 dan 5.553 %.

Berikut plot TRD sebenarnya dengan TRD prediksi model-3:



**Gambar 3.11** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-3

Setelah sistem TRD terbentuk, maka sistem tersebut diaplikasikan ke

CHD. Berikut data hasil prediksi pada CHD model-3:

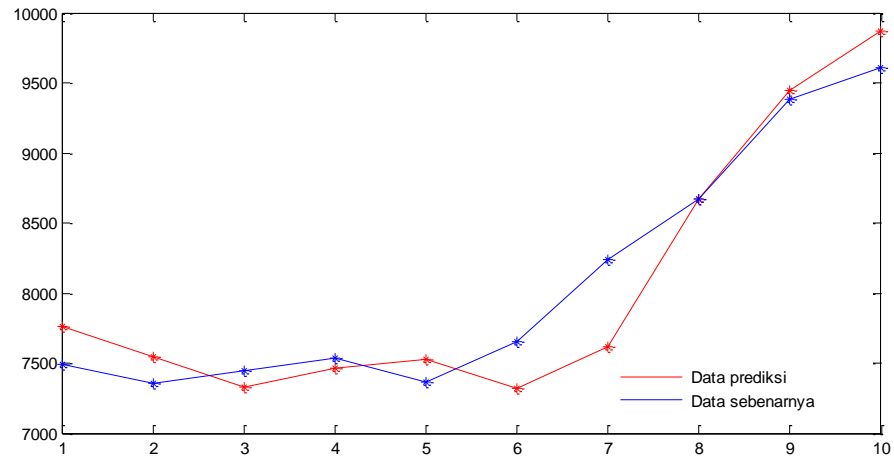
**Tabel 3.14** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-3

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7495.415	7761.171
2	7676.666	7495.415	7355.852	7548.881
3	7495.415	7355.852	7450.153	7331.651
4	7355.852	7450.153	7540	7465.909
5	7450.153	7540	7361.09	7527.297
6	7540	7361.09	7654.323	7321.626
7	7361.09	7654.323	8241.115	7616.949
8	7654.323	8241.115	8668.629	8675.469
9	8241.115	8668.629	9379.448	9448.492
10	8668.629	9379.448	9612.517	9866.218

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 72449.146 dan 2.638 %. Berikut

plot CHD sebenarnya dengan CHD prediksi model-3:





**Gambar 3.12** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-3

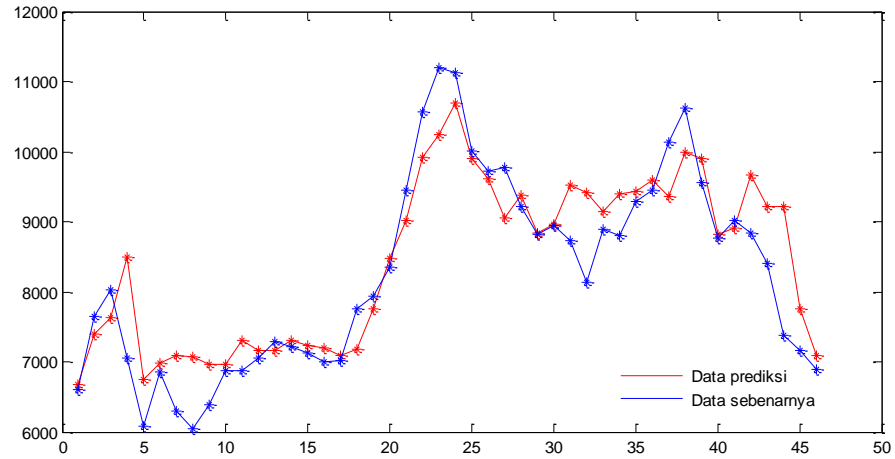
#### 4. Model-4

Model-4 adalah model yang menggunakan fungsi keanggotaan gauss dengan 2 variabel *input* berupa harga CPO pada 2 bulan sebelumnya ( $x_{t-1}$ ) dan ( $x_{t-2}$ ). Data harga CPO tersebut akan dipasangkan sebanyak  $t - n = 48 - 2 = 46$  pasang *input-output* TRD. Kemudian dari pasangan data tersebut diperoleh aturan sebanyak 29 aturan (aturan selengkapnya disajikan pada lampiran 18). Berikut hasil prediksi TRD model-4 (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 19):

**Tabel 3.15** TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-4

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6602.688	6681.567
2	6274.846	6602.688	7642.71	7402.618
3	6602.688	7642.71	8027.179	7627.517
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
45	8413.028	7371.117	7155.774	7752.042
46	7371.117	7155.774	6886.586	7095.087

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 72449.146 dan 2.638 %. Berikut plot TRD sebenarnya dengan TRD prediksi model-4:



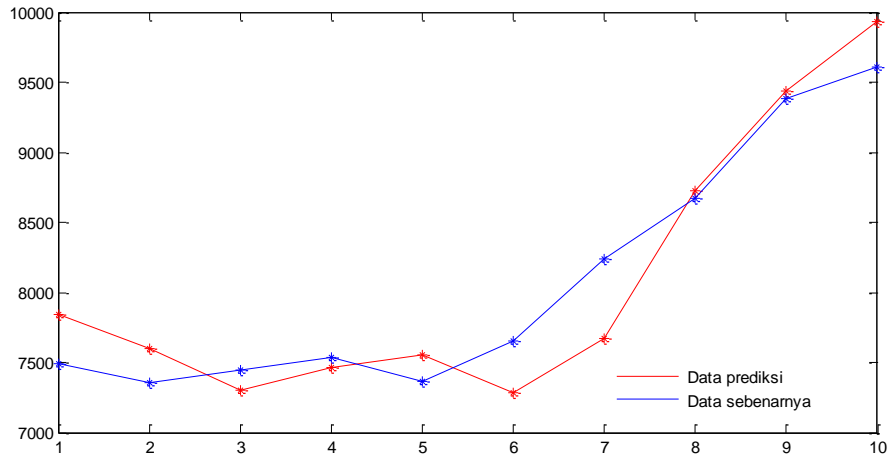
**Gambar 3.13** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-4

Setelah sistem TRD terbentuk, maka sistem tersebut diaplikasikan ke CHD. Berikut data hasil prediksi pada CHD model-4:

**Tabel 3.16** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-4

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7495.415	7840.831
2	7676.666	7495.415	7355.852	7596.508
3	7495.415	7355.852	7450.153	7299.845
4	7355.852	7450.153	7540	7467.833
5	7450.153	7540	7361.09	7553.931
6	7540	7361.09	7654.323	7281.962
7	7361.09	7654.323	8241.115	7668.055
8	7654.323	8241.115	8668.629	8727.672
9	8241.115	8668.629	9379.448	9432.965
10	8668.629	9379.448	9612.517	9931.387

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 362994.943 dan 5.57 %. Berikut plot CHD sebenarnya dengan CHD prediksi model-4:



**Gambar 3.14** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-4

## 6. Model-6

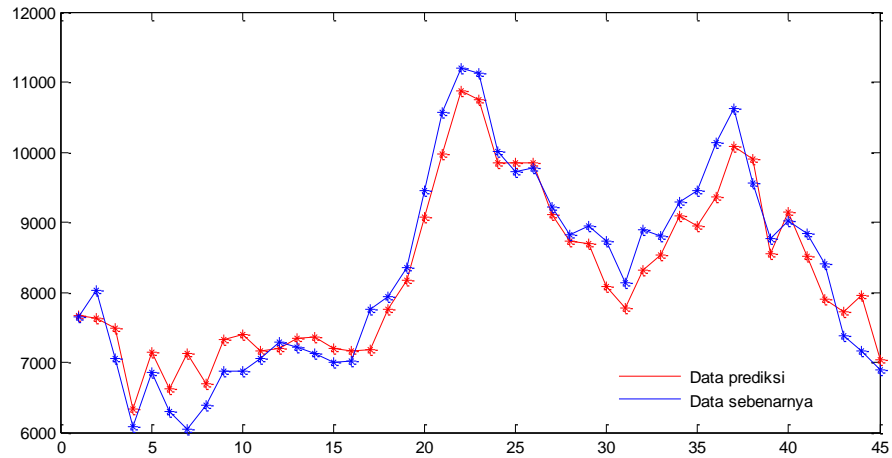
Model-6 adalah model yang menggunakan fungsi keanggotaan gauss dengan 3 variabel *input* berupa harga CPO pada 3 bulan sebelumnya ( $x_{t-1}$ ), ( $x_{t-2}$ ) dan ( $x_{t-3}$ ). Data harga CPO tersebut akan dipasangkan sebanyak  $t - n = 48 - 3 = 45$  pasang *input-output* TRD. Kemudian dari pasangan data tersebut diperoleh aturan sebanyak 38 aturan (aturan selengkapnya disajikan pada lampiran 19). Berikut hasil prediksi TRD model-6 (tabel selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 20):

**Tabel 3.17** TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-6

Data ke-	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t = y^*$ (sebenarnya)	$x_t = y^*$ (prediksi)
1	5830.959	6274.846	6602.688	7642.71	7673.518
2	6274.846	6602.688	7642.71	8027.179	7634.957
3	6602.688	7642.71	8027.179	7054.292	7485.023
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
44	8840.469	8413.028	7371.117	7155.774	7956.652
45	8413.028	7371.117	7155.774	6886.586	7040.805

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 159882.27 dan 4.166 %.

Berikut plot TRD sebenarnya dengan TRD prediksi model-6:



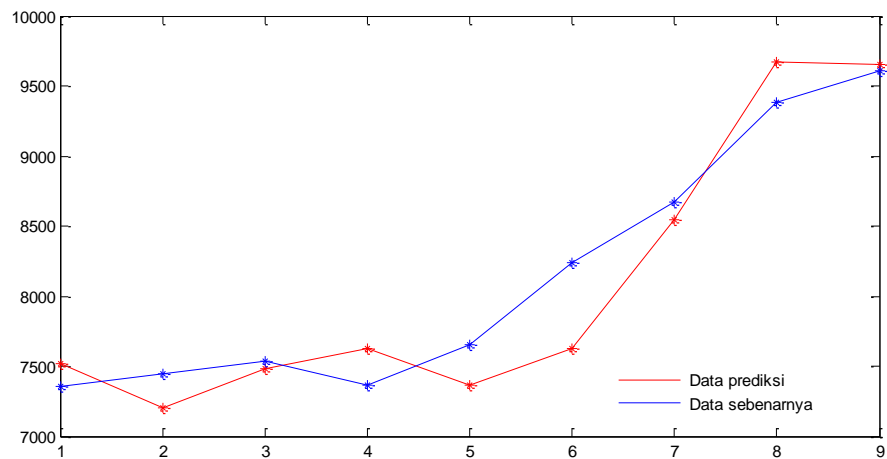
**Gambar 3.15** Plot TRD Prediksi dan TRD Sebenarnya Model-6

Setelah sistem TRD terbentuk, maka sistem tersebut diaplikasikan ke CHD. Berikut data hasil prediksi pada CHD model-6:

**Tabel 3.18** CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-6

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_{t-3}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t$ prediksi
1	7521.411	7676.666	7495.415	7355.852	7519.904
2	7676.666	7495.415	7355.852	7450.153	7205.331
3	7495.415	7355.852	7450.153	7540	7485.14
4	7355.852	7450.153	7540	7361.09	7628.734
5	7450.153	7540	7361.09	7654.323	7361.333
6	7540	7361.09	7654.323	8241.115	7629.593
7	7361.09	7654.323	8241.115	8668.629	8543.114
8	7654.323	8241.115	8668.629	9379.448	9667.519
9	8241.115	8668.629	9379.448	9612.517	9655.521

Dengan nilai MSE dan MAPE, yaitu 80209.322 dan 2.899 %. Berikut plot CHD sebenarnya dengan CHD prediksi model-6:



**Gambar 3.16** Plot CHD Prediksi dan CHD Sebenarnya Model-6

Selanjutnya dari semua model akan ditentukan model prediksi terbaik berdasarkan nilai MSE dan MAPE. Berikut tabel nilai MSE dan MAPE masing-masing data:

**Tabel 3.19** Nilai MSE dan MAPE Masing-masing Model

Model	Jumlah Input	Data	Fungsi Keanggotaan	MSE	MAPE
1	1	TRD	Segitiga	519336.67	6.89%
		CHD	Segitiga	330158.405	4.773%
2	1	TRD	Gauss	496486.092	6.913%
		CHD	Gauss	357564.402	4.977%
3	2	TRD	Segitiga	365679.697	5.553%
		CHD	Segitiga	72449.146	2.638%
4	2	TRD	Gauss	362994.943	5.57%
		CHD	Gauss	81729.491	2.986%
5	3	TRD	Segitiga	146577.6	3.825%
		CHD	Segitiga	86253.754	2.926%
6	3	TRD	Gauss	159882.27	4.166%
		CHD	Gauss	80209.322	2.899%

Berdasarkan tabel 3.19, model terbaik untuk memprediksi harga CPO adalah model-3, karena memiliki nilai MSE dan MAPE terkecil pada CHD, yaitu

72449.146 dan 2.638%. Selanjutnya model-3 akan digunakan sebagai alat prediksi harga CPO untuk 12 bulan ke depan. Berikut hasil prediksi harga CPO untuk bulan Januari 2014 s/d Desember 2014 dalam rupiah per kilogram:

**Tabel 3.20** Hasil Prediksi untuk Bulan Januari 2014 s/d Desember 2014

Bulan	Data Sebenarnya	Data Prediksi	MAPE %
Januari	9375.733	9664.487	3.08
Februari	9705.197	9479.442	2.33
Maret	9832.541	9281.655	5.6
April	9438.153	9094.475	3.64
Mei	-	8604.593	
Juni	-	9287.198	
Juli	-	10064.288	
Agustus	-	10222.992	
September	-	9283.219	
Oktober	-	8679.376	
November	-	8969.097	
Desember	-	9773.367	

Dari data hasil peramalan, diperkirakan harga CPO akan turun dari Januari hingga Mei, kemudian harga akan naik dan mencapai harga tertinggi pada bulan Agustus 2014 sebesar 10222.992.

## BAB IV

### PENUTUP

#### A. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Prosedur Sistem *Fuzzy Mamdani* dalam memprediksi harga CPO dimulai dari menentukan data harga CPO sebelumnya sebagai variabel *input*, yaitu  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$ ,  $x_{t-1}$  dan harga CPO pada  $x_t$  sebagai *output*. Kemudian variabel *input* yang bernilai tegas tersebut dibentuk menjadi nilai *fuzzy* melalui fungsi keanggotaan segitiga dan gauss. Variabel *input* maupun *output* dibentuk menjadi 9 himpunan *fuzzy*, yaitu  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  dan  $A_9$ . Selanjutnya dibangun aturan menggunakan *table lookup scheme*. Aturan awal yang terbentuk sebanyak pasangan *input-output* diseleksi kembali dengan memilih derajat keanggotaan terbesar. Derajat keanggotaan terbesar didapat dari perkalian masing-masing derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* aturan. Setelah diseleksi, dibangun *fuzzy rule base* yang merupakan otak dalam suatu sistem *fuzzy*. Nilai *fuzzy* yang didapat dari proses fuzzifikasi diolah bersama *fuzzy rule base* menggunakan implikasi min dan komposisi aturan max untuk dimodifikasi menjadi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator gabungan, proses ini disebut sebagai proses inferensi. Proses inferensi

akan menghasilkan nilai *fuzzy* baru. Nilai *fuzzy* baru ini diolah menggunakan *defuzzifier* centroid dan menghasilkan *output* nilai tegas berupa data prediksi. Setelah data prediksi didapat, maka akan ditentukan keakuratan setiap model dengan menentukan nilai MSE dan MAPE. Model terbaik adalah model dengan nilai MSE dan MAPE terkecil.

2. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pembahasan, dengan menggunakan jumlah *input* dan fungsi keanggotaan yang berbeda, model terbaik yang didapat adalah model yang menggunakan 2 *input* atau 2 data harga CPO sebelumnya dengan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga. Model ini menghasilkan MSE CHD 72449.146, dan MAPE CHD 2.638%. MAPE CHD 2.638% mengindikasikan bahwa tingkat kesalahan prediksi sebesar 2.638%. Model ini menghasilkan tingkat kesalahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Eny Mamudah (2010). Eny Mahmudah menggunakan kombinasi metode Mamdani dan *Evolution Strategis* dan menghasilkan tingkat kesalahan 9% pada CHD. Hasil prediksi harga CPO per kg dalam rupiah untuk 12 bulan kedepan adalah 9664.487, 9479.442, 9281.655, 9094.475, 8604.593, 9287.198, 10064.288, 10222.992, 9283.219, 8679.376, 8969.097, dan 9773.367.



## B. SARAN

Berdasarkan hasil-hasil yang telah diperoleh penulis dalam memprediksi harga CPO menggunakan Sistem *Fuzzy Mamdani*, maka penulis menyarankan:

1. Variabel *input* hendaknya ditambah, karena pada dasarnya harga CPO dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti harga minyak mentah, iklim dan cuaca, valuta asing, bencana alam dan lain-lain.
2. Menggunakan sistem *fuzzy* yang lain, seperti Sistem *Fuzzy Sugeno*, Sistem *Fuzzy Tsukamoto*, dan lain-lain.
3. Menggunakan *defuzzifier* yang lain, seperti CAD atau *maximum defuzzifier*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Aziz Karia., Imbarine Bujang, dan Ismail Ahmad. (2013). Forecasting on Crude Palm Oil Prices Using Artificial Intelligence Approaches. Diakses dari <http://dx.doi.org/10.4236/ajor.2013.32023> pada tanggal 23 Maret 2014.
- Abdul Razak Abdul Hadi, dkk. (2011). Investigating Relationship Between Crude Palm Oil Prices and Crude Oil Prices Co-integration Approach. *OECD Economic Outlook* no. 76. Diakses dari [http://www.internationalconference.com.my/proceeding/icber2011\\_proceeding/281-2nd%20ICBER%202011%20PG%201554-1565%20Investigating%20Relationship.pdf](http://www.internationalconference.com.my/proceeding/icber2011_proceeding/281-2nd%20ICBER%202011%20PG%201554-1565%20Investigating%20Relationship.pdf) pada tanggal 23 Maret 2014.
- Ali Muhson. (2007). Penerapan Logika *Fuzzy* dalam Pemodelan Perkiraan Tingkat Inflasi di Indonesia. Diakses dari <http://journal.uny.ac.id/index.php/jep/article/view/612> pada tanggal 25 Maret 2014.
- Anonim. (2014). *Palm Oil Fact and Figures*. Diakses dari [http://www.simedarby.com/upload/Palm\\_Oil\\_Facts\\_and\\_Figures.pdf](http://www.simedarby.com/upload/Palm_Oil_Facts_and_Figures.pdf) pada tanggal 21 April 2014.
- Bluman, A.G. (2009). *Elementary Statistics: A Step by Step Approach*. New York: Mc Graw Hill.
- Cakti Gita Arwana. (2013). Kamus Bursa: Apa Itu Investasi?. Diakses dari <http://market.bisnis.com/read/20131003/7/166756/kamus-bursa-apa-itu-investasi> pada tanggal 21 April 2014, jam 21.39 WIB.
- Damayanti, E. (2008). *Kebijakan initial margin dan Volalitas Harga pada Perdagangan Berjangka Komoditas Olein di Indonesia*. Skripsi. UI.
- Eny Mahmudah. (2010). Prediksi Harga Minyak Kelapa Sawit (CPO) Menggunakan Kombinasi Metode *Fuzzy-Mamdani* dan *Evolution Strategies*. Diakses dari [http://digilib.ittelkom.ac.id/index.php?option=com\\_repository&Itemid=34&task=detail&nim=113060144](http://digilib.ittelkom.ac.id/index.php?option=com_repository&Itemid=34&task=detail&nim=113060144) pada tanggal 25 April 2014.
- Fauzi, Y., dkk. (2012). *Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Halim, A. (2005). *Analisis Investasi* (edisi 2). Jakarta: Salemba 4.
- Hanke, J.E. & Wichern, D.W. (2005). *Bussiness Forecasting, 8th Edition*. Upper Saddle River, New Jersey:Prentice Hall.

- Jayus Priyana dan Agus Maman Abadi. (2011). Peramalan Suhu Udara di Yogyakarta dengan Menggunakan Model *Fuzzy*. Diakses dari [eprints.uny.ac.id/7149/1/M-31%20-%20Jayus%20Priyana.pdf](http://eprints.uny.ac.id/7149/1/M-31%20-%20Jayus%20Priyana.pdf) pada tanggal 21 April 2014.
- Klir, G.J. dan Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets & Fuzzy Logic – Theory & Applications*. New Jersey: Prentice Hall P T R.
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelegent (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, S. dan Hartati, S. (2010). *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mangoensoekarjo, S. (2003). *Manajemen Agrobisnis Kelapa Sawit*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Nik Muhammad Naziman Ab Rahman, Abdol Samad Nawi dan Yusrina Hayati Nik Muhd Naziman (2012). The Price Discovery of the Malaysian Crude Palm Oil Futures Markets. *Journal of Applied Finance & Banking*, Volume 2 no.4, 1792-6580. Diakses dari [http://www.sciencpress.com/Upload/JAFB/Vol%202\\_4\\_3.pdf](http://www.sciencpress.com/Upload/JAFB/Vol%202_4_3.pdf) pada tanggal
- Prihatin Tri Rahayuningsih dan Agus Maman Abadi. (2011). Penerapan Model *Fuzzy* dengan Metode Table Look-Up Scheme Untuk Memprediksi Indeks Harga Saham Gabungan. Diakses dari [eprints.uny.ac.id/7319/2/t-17.pdf](http://eprints.uny.ac.id/7319/2/t-17.pdf) pada tanggal 30 April 2014.
- R. Nugroho Purwantoro. (2008). Sekilas Pandang Industri Sawit. Diakses dari <http://lmfeui.com/data/Sekilas%20Pandang%20Industri%20Sawit.pdf> pada tanggal 21 April 2014, jam 21.50 WIB.
- Silalahi, D.D. (2013). Application of Neural Network Model with Genetic Algorithm to Predict the International Price of Crude Palm Oil (CPO) and Soybean Oil (SBO). Diakses dari [http://www.researchgate.net/publication/259195633\\_Application\\_of\\_Neural\\_Network\\_Model\\_with\\_Genetic\\_Algorithm\\_to\\_Predict\\_the\\_International\\_Price\\_of\\_Crude\\_Palm\\_Oil\\_%28CPO%29\\_and\\_Soybean\\_Oil\\_%28SBO%29](http://www.researchgate.net/publication/259195633_Application_of_Neural_Network_Model_with_Genetic_Algorithm_to_Predict_the_International_Price_of_Crude_Palm_Oil_%28CPO%29_and_Soybean_Oil_%28SBO%29) pada tanggal 4 Mei 2014.
- Soedjadi. (1988). *Pengantar Logika Matematik (non-aksiomatik)*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Tandelilin, E. (2001). *Analisis Investasi & Management Portofolio*. Yogyakarta: BPPE.

- Wang, L.X. (1997). *A Course in Fuzzy System and Control*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- Wijaya, J.A. (2006). *Bursa Berjangka*. Yogyakarta: Andi.
- Yunanto, I.D. (2009). *Analisis Pengaruh Harga Spot dan Harga Forward Terhadap Harga Dimasa Mendatang Komoditas CPO*. Tesis pada Magister Manajemen Universitas Diponegoro. Semarang: tidak diterbitkan.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Script Matlab Fuzzy Mamdani

```
%Nama file data_training.m
%menggunakan sistem Fuzzy Mamdani dengan implikasi min, komposisi
aturan max dan defuzzifier centroid
format longg;
n=newfis('fus','mamdani','min','max','min','max','centroid');

%Fungsi keanggotaan untuk input-1 : menggunakan fungsi keanggotaan
segitiga
n=addvar(n,'input','X1',[5800 11200]);
n=addmf(n,'input',1,'A1','trimf',[5800 5800 6475]);
n=addmf(n,'input',1,'A2','trimf',[5800 6475 7150]);
n=addmf(n,'input',1,'A3','trimf',[6475 7150 7825]);
n=addmf(n,'input',1,'A4','trimf',[7150 7825 8500]);
n=addmf(n,'input',1,'A5','trimf',[7825 8500 9175]);
n=addmf(n,'input',1,'A6','trimf',[8500 9175 9850]);
n=addmf(n,'input',1,'A7','trimf',[9175 9850 10525]);
n=addmf(n,'input',1,'A8','trimf',[9850 10525 11200]);
n=addmf(n,'input',1,'A9','trimf',[10525 11200 11200]);

%Fungsi keanggotaan untuk input-2 : menggunakan fungsi keanggotaan
segitiga
n=addvar(n,'input','X2',[5800 11200]);
n=addmf(n,'input',2,'A1','trimf',[5800 5800 6475]);
n=addmf(n,'input',2,'A2','trimf',[5800 6475 7150]);
n=addmf(n,'input',2,'A3','trimf',[6475 7150 7825]);
n=addmf(n,'input',2,'A4','trimf',[7150 7825 8500]);
n=addmf(n,'input',2,'A5','trimf',[7825 8500 9175]);
n=addmf(n,'input',2,'A6','trimf',[8500 9175 9850]);
n=addmf(n,'input',2,'A7','trimf',[9175 9850 10525]);
n=addmf(n,'input',2,'A8','trimf',[9850 10525 11200]);
n=addmf(n,'input',2,'A9','trimf',[10525 11200 11200]);

%Fungsi keanggotaan untuk input-3 : menggunakan fungsi keanggotaan
segitiga
n=addvar(n,'input','X3',[5800 11200]);
n=addmf(n,'input',3,'A1','trimf',[5800 5800 6475]);
n=addmf(n,'input',3,'A2','trimf',[5800 6475 7150]);
n=addmf(n,'input',3,'A3','trimf',[6475 7150 7825]);
n=addmf(n,'input',3,'A4','trimf',[7150 7825 8500]);
n=addmf(n,'input',3,'A5','trimf',[7825 8500 9175]);
n=addmf(n,'input',3,'A6','trimf',[8500 9175 9850]);
n=addmf(n,'input',3,'A7','trimf',[9175 9850 10525]);
n=addmf(n,'input',3,'A8','trimf',[9850 10525 11200]);
n=addmf(n,'input',3,'A9','trimf',[10525 11200 11200]);

%Fungsi keanggotaan untuk output : menggunakan fungsi keanggotaan
segitiga
```

```

n=addvar(n,'output','Y',[5800 11200]);
n=addmf(n,'output',1,'A1','trimf',[5800 5800 6475]);
n=addmf(n,'output',1,'A2','trimf',[5800 6475 7150]);
n=addmf(n,'output',1,'A3','trimf',[6475 7150 7825]);
n=addmf(n,'output',1,'A4','trimf',[7150 7825 8500]);
n=addmf(n,'output',1,'A5','trimf',[7825 8500 9175]);
n=addmf(n,'output',1,'A6','trimf',[8500 9175 9850]);
n=addmf(n,'output',1,'A7','trimf',[9175 9850 10525]);
n=addmf(n,'output',1,'A8','trimf',[9850 10525 11200]);
n=addmf(n,'output',1,'A9','trimf',[10525 11200 11200]);

%Fuzzy rule base : tulis aturan yang terbentuk diikuti dengan 1 1
ruleList=[1 2 2 4 1 1; 1 3 2 1 1 1; 1 2 3 3 1 1; 2 2 4 4 1 1; 2 4
4 3 1 1; 2 1 2 3 1 1; 2 3 3 3 1 1; 3 1 3 2 1 1; 3 2 1 2 1 1; 3 3 3
3 1 1; 3 3 4 4 1 1; 3 4 4 5 1 1; 4 4 3 1 1 1; 4 3 1 3 1 1; 4 4 5 6
1 1; 4 5 6 8 1 1; 4 6 5 6 1 1; 5 6 8 9 1 1; 5 6 5 4 1 1; 5 4 6 5 1
1; 5 6 6 5 1 1; 5 3 3 3 1 1; 6 8 9 9 1 1; 6 5 4 6 1 1; 6 5 6 6 1
1; 6 6 7 8 1 1; 6 7 8 7 1 1; 6 6 5 3 1 1; 6 5 3 3 1 1; 7 7 7 6 1
1; 7 7 6 5 1 1; 7 6 5 6 1 1; 7 8 7 5 1 1; 7 5 6 6 1 1; 8 9 9 7 1
1; 8 7 5 6 1 1; 9 9 7 7 1 1; 9 7 7 7 1 1];
n=addrule(n,ruleList);

%Memasukkan data dengan a = input-1, b = input-2, c=input-3 dan y
= output realita
a=[5830.959 6274.846 6602.688 7642.71 8027.179 7054.292 6090.038
6852.516 6301.018 6036.325 6385.872 6881.459 6882.384 7051.044
7284.864 7208.597 7122.361 6997.675 7012.168 7762.638 7941.986
8349.691 9458.665 10569.32 11191.72 11132.73 10006.48 9722.244
9783.444 9217.116 8820.28 8937.355 8735.114 8131.429 8883.316
8807.37 9291.856 9455.717 10134.48 10620.18 9557.126 8767.164
9011.936 8840.469 8413.028];
b=[6274.846 6602.688 7642.71 8027.179 7054.292 6090.038 6852.516
6301.018 6036.325 6385.872 6881.459 6882.384 7051.044 7284.864
7208.597 7122.361 6997.675 7012.168 7762.638 7941.986 8349.691
9458.665 10569.32 11191.72 11132.73 10006.48 9722.244 9783.444
9217.116 8820.28 8937.355 8735.114 8131.429 8883.316 8807.37
9291.856 9455.717 10134.48 10620.18 9557.126 8767.164 9011.936
8840.469 8413.028 7371.117];
c=[6602.688 7642.71 8027.179 7054.292 6090.038 6852.516 6301.018
6036.325 6385.872 6881.459 6882.384 7051.044 7284.864 7208.597
7122.361 6997.675 7012.168 7762.638 7941.986 8349.691 9458.665
10569.32 11191.72 11132.73 10006.48 9722.244 9783.444 9217.116
8820.28 8937.355 8735.114 8131.429 8883.316 8807.37 9291.856
9455.717 10134.48 10620.18 9557.126 8767.164 9011.936 8840.469
8413.028 7371.117 7155.774];
y=[7642.71 8027.179 7054.292 6090.038 6852.516 6301.018 6036.325
6385.872 6881.459 6882.384 7051.044 7284.864 7208.597 7122.361
6997.675 7012.168 7762.638 7941.986 8349.691 9458.665 10569.32
11191.72 11132.73 10006.48 9722.244 9783.444 9217.116 8820.28
8937.355 8735.114 8131.429 8883.316 8807.37 9291.856 9455.717
10134.48 10620.18 9557.126 8767.164 9011.936 8840.469 8413.028
7371.117 7155.774 6886.586];

%Perhitungan defuzzifikasi
y_1=evalfis([a' b' c'],n);

```

```

%Tabel sebenarnya dan prediksi, Perhitungan MSE dan MAPE dengan
n=45
hasil=[a' b' c' y' y_1]
MSE=sum((y_1-y').^2)./45
MAPE=sum(abs((y_1-y')./y'))*100)./45

%untuk menampilkan grafik
x=1:1:45;
plot(x,y_1, '-r*', x, y, '-b*')

```

## Lampiran 2 Data Harga CPO dari Januari 2009 s/d Desember 2013

No	Bulan	Harga CPO (Rupiah)
1	Jan-09	5830.959
2	Feb-09	6274.846
3	Mar-09	6602.688
4	Apr-09	7642.71
5	May 2009	8027.179
6	Jun-09	7054.292
7	Jul-09	6090.038
8	Aug 2009	6852.516
9	Sep-09	6301.018
10	Oct 2009	6036.325
11	Nov 2009	6385.872
12	Dec 2009	6881.459
13	Jan-10	6882.384
14	Feb-10	7051.044
15	Mar-10	7284.864
16	Apr-10	7208.597
17	May 2010	7122.361
18	Jun-10	6997.675
19	Jul-10	7012.168
20	Aug 2010	7762.638
21	Sep-10	7941.986
22	Oct 2010	8349.691
23	Nov 2010	9458.665
24	Dec 2010	10569.32
25	Jan-11	11191.72
26	Feb-11	11132.73
27	Mar-11	10006.48
28	Apr-11	9722.244
29	May 2011	9783.444
30	Jun-11	9217.116

31	Jul-11	8820.28
32	Aug 2011	8937.355
33	Sep-11	8735.114
34	Oct 2011	8131.429
35	Nov 2011	8883.316
36	Dec 2011	8807.37
37	Jan-12	9291.856
38	Feb-12	9455.717
39	Mar-12	10134.48
40	Apr-12	10620.18
41	May 2012	9557.126
42	Jun-12	8767.164
43	Jul-12	9011.936
44	Aug 2012	8840.469
45	Sep-12	8413.028
46	Oct 2012	7371.117
47	Nov 2012	7155.774
48	Dec 2012	6886.586
49	Jan-13	7521.411
50	Feb-13	7676.666
51	Mar-13	7495.415
52	Apr-13	7355.852
53	May 2013	7450.153
54	Jun-13	7540
55	Jul-13	7361.09
56	Aug 2013	7654.323
57	Sep-13	8241.115
58	Oct 2013	8668.629
59	Nov 2013	9379.448
60	Dec 2013	9612.517

### Lampiran 3 TRD Harga CPO

No	Bulan	Harga CPO (Rupiah)
1	Jan-09	5830.959
2	Feb-09	6274.846
3	Mar-09	6602.688
4	Apr-09	7642.71
5	May 2009	8027.179
6	Jun-09	7054.292
7	Jul-09	6090.038



8	Aug 2009	6852.516
9	Sep-09	6301.018
10	Oct 2009	6036.325
11	Nov 2009	6385.872
12	Dec 2009	6881.459
13	Jan-10	6882.384
14	Feb-10	7051.044
15	Mar-10	7284.864
16	Apr-10	7208.597
17	May 2010	7122.361
18	Jun-10	6997.675
19	Jul-10	7012.168
20	Aug 2010	7762.638
21	Sep-10	7941.986
22	Oct 2010	8349.691
23	Nov 2010	9458.665
24	Dec 2010	10569.32
25	Jan-11	11191.72
26	Feb-11	11132.73
27	Mar-11	10006.48
28	Apr-11	9722.244
29	May 2011	9783.444
30	Jun-11	9217.116
31	Jul-11	8820.28
32	Aug 2011	8937.355
33	Sep-11	8735.114
34	Oct 2011	8131.429
35	Nov 2011	8883.316
36	Dec 2011	8807.37
37	Jan-12	9291.856
38	Feb-12	9455.717
39	Mar-12	10134.48
40	Apr-12	10620.18
41	May 2012	9557.126
42	Jun-12	8767.164
43	Jul-12	9011.936
44	Aug 2012	8840.469
45	Sep-12	8413.028
46	Oct 2012	7371.117
47	Nov 2012	7155.774
48	Dec 2012	6886.586

#### Lampiran 4 CHD Harga CPO

No	Bulan	Harga CPO (Rupiah)
1	Jan-13	7521.411
2	Feb-13	7676.666
3	Mar-13	7495.415
4	Apr-13	7355.852
5	May 2013	7450.153
6	Jun-13	7540
7	Jul-13	7361.09
8	Aug 2013	7654.323
9	Sep-13	8241.115
10	Oct 2013	8668.629
11	Nov 2013	9379.448
12	Dec 2013	9612.517

#### Lampiran 5 THD Model-5

Data ke-	<i>Input</i>			<i>Output</i>
	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$
1	5830.959	6274.846	6602.688	7642.71
2	6274.846	6602.688	7642.71	8027.179
3	6602.688	7642.71	8027.179	7054.292
4	7642.71	8027.179	7054.292	6090.038
5	8027.179	7054.292	6090.038	6852.516
6	7054.292	6090.038	6852.516	6301.018
7	6090.038	6852.516	6301.018	6036.325
8	6852.516	6301.018	6036.325	6385.872
9	6301.018	6036.325	6385.872	6881.459
10	6036.325	6385.872	6881.459	6882.384
11	6385.872	6881.459	6882.384	7051.044
12	6881.459	6882.384	7051.044	7284.864
13	6882.384	7051.044	7284.864	7208.597
14	7051.044	7284.864	7208.597	7122.361
15	7284.864	7208.597	7122.361	6997.675
16	7208.597	7122.361	6997.675	7012.168
17	7122.361	6997.675	7012.168	7762.638

18	6997.675	7012.168	7762.638	7941.986
19	7012.168	7762.638	7941.986	8349.691
20	7762.638	7941.986	8349.691	9458.665
21	7941.986	8349.691	9458.665	10569.32
22	8349.691	9458.665	10569.32	11191.72
23	9458.665	10569.32	11191.72	11132.73
24	10569.32	11191.72	11132.73	10006.48
25	11191.72	11132.73	10006.48	9722.244
26	11132.73	10006.48	9722.244	9783.444
27	10006.48	9722.244	9783.444	9217.116
28	9722.244	9783.444	9217.116	8820.28
29	9783.444	9217.116	8820.28	8937.355
30	9217.116	8820.28	8937.355	8735.114
31	8820.28	8937.355	8735.114	8131.429
32	8937.355	8735.114	8131.429	8883.316
33	8735.114	8131.429	8883.316	8807.37
34	8131.429	8883.316	8807.37	9291.856
35	8883.316	8807.37	9291.856	9455.717
36	8807.37	9291.856	9455.717	10134.48
37	9291.856	9455.717	10134.48	10620.18
38	9455.717	10134.48	10620.18	9557.126
39	10134.48	10620.18	9557.126	8767.164
40	10620.18	9557.126	8767.164	9011.936
41	9557.126	8767.164	9011.936	8840.469
42	8767.164	9011.936	8840.469	8413.028
43	9011.936	8840.469	8413.028	7371.117
44	8840.469	8413.028	7371.117	7155.774
45	8413.028	7371.117	7155.774	6886.586

### Lampiran 6 Fuzzy rule base Model-5

No	Jika			Maka
	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_3$	$A_2$	$A_1$
2	$A_4$	$A_4$	$A_3$	$A_1$
3	$A_3$	$A_2$	$A_3$	$A_2$
4	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_2$
5	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_3$
6	$A_2$	$A_4$	$A_4$	$A_3$
7	$A_2$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
8	$A_2$	$A_3$	$A_3$	$A_3$

9	$A_3$	$A_3$	$A_3$	$A_3$
10	$A_4$	$A_3$	$A_1$	$A_3$
11	$A_5$	$A_3$	$A_3$	$A_3$
12	$A_6$	$A_6$	$A_5$	$A_3$
13	$A_6$	$A_5$	$A_3$	$A_3$
14	$A_1$	$A_2$	$A_2$	$A_4$
15	$A_2$	$A_2$	$A_4$	$A_4$
16	$A_3$	$A_3$	$A_4$	$A_4$
17	$A_5$	$A_6$	$A_5$	$A_4$
18	$A_3$	$A_4$	$A_4$	$A_5$
19	$A_5$	$A_4$	$A_6$	$A_5$
20	$A_5$	$A_6$	$A_6$	$A_5$
21	$A_6$	$A_5$	$A_6$	$A_5$
22	$A_7$	$A_7$	$A_6$	$A_5$
23	$A_7$	$A_8$	$A_7$	$A_5$
24	$A_4$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
25	$A_4$	$A_6$	$A_5$	$A_6$
26	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_6$
27	$A_7$	$A_7$	$A_7$	$A_6$
28	$A_7$	$A_6$	$A_5$	$A_6$
29	$A_7$	$A_5$	$A_6$	$A_6$
30	$A_8$	$A_7$	$A_5$	$A_6$
31	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_7$
32	$A_8$	$A_9$	$A_9$	$A_7$
33	$A_9$	$A_9$	$A_7$	$A_7$
34	$A_9$	$A_7$	$A_7$	$A_7$
35	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_8$
36	$A_6$	$A_6$	$A_7$	$A_8$
37	$A_5$	$A_6$	$A_8$	$A_9$
38	$A_6$	$A_8$	$A_9$	$A_9$

**Lampiran 7** Fungsi Implikasi Min Data 1 Model-5

Aturan ke-	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	Hasil Implikasi
1	0.954135	0	0.810833	0
2	0	0	0.189167	0
3	0	0.296524	0.189167	0
4	0	0.703476	0	0
5	0.954135	0.703476	0.189167	0.189167
6	0.045865	0	0	0
7	0.045865	0.296524	0.810833	0.045865
8	0.045865	0	0.189167	0
9	0	0	0.189167	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0.189167	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0.189167	0
14	0.954135	0.703476	0.810833	0.703476
15	0.045865	0.703476	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0

36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0

**Lampiran 8** Komposisi Aturan Data 1 Model-5

Aturan ke	Hasil Fungsi Implikasi	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
1	0	0								
2	0									
3	0		0							
4	0									
5	0.189167			0.189						
6	0									
7	0.045865									
8	0									
9	0									
10	0									
11	0									
12	0									
13	0									
14	0.703476				0.703					
15	0									
16	0									
17	0									
18	0					0				
19	0									
20	0									
21	0									
22	0						0			
23	0									
24	0									
25	0									
26	0									
27	0									
28	0									
29	0									

30	0									
31	0									
32	0									
33	0									
34	0									
35	0									
36	0									
37	0									
38	0									

### Lampiran 9 Hasil Prediksi Model-5

Data ke-	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$ (sebenarnya)	$x_t = y^*$ (prediksi)
1	5830.959	6274.846	6602.688	7642.71	7661.135
2	6274.846	6602.688	7642.71	8027.179	7613.667
3	6602.688	7642.71	8027.179	7054.292	7527.945
4	7642.71	8027.179	7054.292	6090.038	6026.325
5	8027.179	7054.292	6090.038	6852.516	7150
6	7054.292	6090.038	6852.516	6301.018	6619.899
7	6090.038	6852.516	6301.018	6036.325	7142.309
8	6852.516	6301.018	6036.325	6385.872	6699.721
9	6301.018	6036.325	6385.872	6881.459	7359.503
10	6036.325	6385.872	6881.459	6882.384	7431.314
11	6385.872	6881.459	6882.384	7051.044	7142.371
12	6881.459	6882.384	7051.044	7284.864	7150
13	6882.384	7051.044	7284.864	7208.597	7329.705
14	7051.044	7284.864	7208.597	7122.361	7352.287
15	7284.864	7208.597	7122.361	6997.675	7064.008
16	7208.597	7122.361	6997.675	7012.168	7150
17	7122.361	6997.675	7012.168	7762.638	7150
18	6997.675	7012.168	7762.638	7941.986	7737.491
19	7012.168	7762.638	7941.986	8349.691	8123.56
20	7762.638	7941.986	8349.691	9458.665	9087.612
21	7941.986	8349.691	9458.665	10569.32	9961.816
22	8349.691	9458.665	10569.32	11191.72	10960.74
23	9458.665	10569.32	11191.72	11132.73	10960.74
24	10569.32	11191.72	11132.73	10006.48	9850
25	11191.72	11132.73	10006.48	9722.244	9850
26	11132.73	10006.48	9722.244	9783.444	9850

27	10006.48	9722.244	9783.444	9217.116	9081.937
28	9722.244	9783.444	9217.116	8820.28	8764.962
29	9783.444	9217.116	8820.28	8937.355	8742.665
30	9217.116	8820.28	8937.355	8735.114	8306.081
31	8820.28	8937.355	8735.114	8131.429	8057.84
32	8937.355	8735.114	8131.429	8883.316	8266.572
33	8735.114	8131.429	8883.316	8807.37	8772.106
34	8131.429	8883.316	8807.37	9291.856	9102.139
35	8883.316	8807.37	9291.856	9455.717	9207.593
36	8807.37	9291.856	9455.717	10134.48	9418.207
37	9291.856	9455.717	10134.48	10620.18	10068.2
38	9455.717	10134.48	10620.18	9557.126	9999.558
39	10134.48	10620.18	9557.126	8767.164	8500
40	10620.18	9557.126	8767.164	9011.936	9175
41	9557.126	8767.164	9011.936	8840.469	8479.084
42	8767.164	9011.936	8840.469	8413.028	8071.461
43	9011.936	8840.469	8413.028	7371.117	7724.268
44	8840.469	8413.028	7371.117	7155.774	8001.039
45	8413.028	7371.117	7155.774	6886.586	7020.618

#### Lampiran 10 Jumlah Kuadrat Error TRD Model-5

No	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi	$e_i^2$
1	7642.71	7661.14	339.481
2	8027.18	7613.67	170992
3	7054.29	7527.95	224347
4	6090.04	6026.33	4059.35
5	6852.52	7150	88496.7
6	6301.02	6619.9	101685
7	6036.33	7142.31	1223201
8	6385.87	6699.72	98501.2
9	6881.46	7359.5	228526
10	6882.38	7431.31	301324
11	7051.04	7142.37	8340.62
12	7284.86	7150	18188.3
13	7208.6	7329.71	14667.1
14	7122.36	7352.29	52866



15	6997.68	7064.01	4400.07
16	7012.17	7150	18997.7
17	7762.64	7150	375325
18	7941.99	7737.49	41818.2
19	8349.69	8123.56	51135.2
20	9458.67	9087.61	137680
21	10569.3	9961.82	369061
22	11191.7	10960.7	53351.8
23	11132.7	10960.7	29580.6
24	10006.5	9850	24486
25	9722.24	9850	16321.6
26	9783.44	9850	4429.7
27	9217.12	9081.94	18273.4
28	8820.28	8764.96	3060.08
29	8937.36	8742.67	37904.2
30	8735.11	8306.08	184069
31	8131.43	8057.84	5415.34
32	8883.32	8266.57	380373
33	8807.37	8772.11	1243.55
34	9291.86	9102.14	35992.5
35	9455.72	9207.59	61565.5
36	10134.5	9418.21	513047
37	10620.2	10068.2	304682
38	9557.13	9999.56	195746
39	8767.16	8500	71376.6
40	9011.94	9175	26589.9
41	8840.47	8479.08	130599
42	8413.03	8071.46	116668
43	7371.12	7724.27	124716
44	7155.77	8001.04	714473
45	6886.59	7020.62	17964.6
$\sum_{i=1}^{45} e_i^2$			6595991.75

**Lampiran 11** Jumlah Nilai Absolut Error TRD Model-5

No	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi	$\frac{ y-y^* }{y} \times 100\%$
1	7642.71	7661.14	0.24108
2	8027.18	7613.67	5.1514
3	7054.29	7527.95	6.71439
4	6090.04	6026.33	1.04618
5	6852.52	7150	4.34124
6	6301.02	6619.9	5.06079
7	6036.33	7142.31	18.3221
8	6385.87	6699.72	4.91474
9	6881.46	7359.5	6.94684
10	6882.38	7431.31	7.97587
11	7051.04	7142.37	1.29523
12	7284.86	7150	1.85129
13	7208.6	7329.71	1.68005
14	7122.36	7352.29	3.22823
15	6997.68	7064.01	0.94793
16	7012.17	7150	1.96561
17	7762.64	7150	7.89214
18	7941.99	7737.49	2.57486
19	8349.69	8123.56	2.70826
20	9458.67	9087.61	3.92289
21	10569.3	9961.82	5.74781
22	11191.7	10960.7	2.06385
23	11132.7	10960.7	1.5449
24	10006.5	9850	1.56379
25	9722.24	9850	1.31406
26	9783.44	9850	0.68029
27	9217.12	9081.94	1.46661
28	8820.28	8764.96	0.62717
29	8937.36	8742.67	2.17838
30	8735.11	8306.08	4.91159
31	8131.43	8057.84	0.90499
32	8883.32	8266.57	6.94272
33	8807.37	8772.11	0.40039
34	9291.86	9102.14	2.04176
35	9455.72	9207.59	2.62406
36	10134.5	9418.21	7.06768

37	10620.2	10068.2	5.19746
38	9557.13	9999.56	4.62934
39	8767.16	8500	3.04733
40	9011.94	9175	1.80942
41	8840.47	8479.08	4.08785
42	8413.03	8071.46	4.05998
43	7371.12	7724.27	4.79101
44	7155.77	8001.04	11.8123
45	6886.59	7020.62	1.94628
$\sum_{i=1}^{45} \frac{ y_i - y_i^* }{y_i} \times 100\%$			172.14

#### Lampiran 12 Fuzzy rule base Model-1

No	Jika	Maka
	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_2$
2	$A_2$	$A_3$
3	$A_3$	$A_3$
4	$A_4$	$A_4$
5	$A_5$	$A_4$
6	$A_6$	$A_6$
7	$A_7$	$A_8$
8	$A_8$	$A_9$
9	$A_9$	$A_9$

#### Lampiran 13 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-5

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ Prediksi
1	5830.959	6274.846	6584.516
2	6274.846	6602.688	7344.286
3	6602.688	7642.71	7668.583
4	7642.71	8027.179	7616.376
5	8027.179	7054.292	7598.706
6	7054.292	6090.038	7271.173
7	6090.038	6852.516	7085.851

8	6852.516	6301.018	7454.68
9	6301.018	6036.325	7386.853
10	6036.325	6385.872	7010.348
11	6385.872	6881.459	7555.214
12	6881.459	6882.384	7431.314
13	6882.384	7051.044	7430.545
14	7051.044	7284.864	7274.841
15	7284.864	7208.597	7311.718
16	7208.597	7122.361	7228.673
17	7122.361	6997.675	7187.89
18	6997.675	7012.168	7329.219
19	7012.168	7762.638	7314.723
20	7762.638	7941.986	7740.913
21	7941.986	8349.691	7679.88
22	8349.691	9458.665	7327.223
23	9458.665	10569.32	9922.52
24	10569.32	11191.72	10990.27
25	11191.72	11132.73	10991.93
26	11132.73	10006.48	10988.74
27	10006.48	9722.244	9496.307
28	9722.244	9783.444	9528.087
29	9783.444	9217.116	9389.025
30	9217.116	8820.28	10379.9
31	8820.28	8937.355	8778.279
32	8937.355	8735.114	9178.393
33	8735.114	8131.429	8483.232
34	8131.429	8883.316	7511.734
35	8883.316	8807.37	8989.306
36	8807.37	9291.856	8734.917
37	9291.856	9455.717	10193.39
38	9455.717	10134.48	9926.404
39	10134.48	10620.18	9702.323
40	10620.18	9557.126	10986.41
41	9557.126	8767.164	9789.565
42	8767.164	9011.936	8597.932
43	9011.936	8840.469	9474.557
44	8840.469	8413.028	8845.603
45	8413.028	7371.117	7261.182
46	7371.117	7155.774	7391.573
47	7155.774	6886.586	7158.129

**Lampiran 14** *Fuzzy rule base Model-2*

No	Jika	Maka
	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_2$
2	$A_2$	$A_3$
3	$A_3$	$A_3$
4	$A_4$	$A_4$
5	$A_5$	$A_4$
6	$A_6$	$A_6$
7	$A_7$	$A_8$
8	$A_8$	$A_9$
9	$A_9$	$A_9$

**Lampiran 15** Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-2

Data ke	$x_{t-1}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ Prediksi
1	5830.959	6274.846	6667.419
2	6274.846	6602.688	7406.493
3	6602.688	7642.71	7669.899
4	7642.71	8027.179	7645.58
5	8027.179	7054.292	7629.938
6	7054.292	6090.038	7263.559
7	6090.038	6852.516	7068.554
8	6852.516	6301.018	7442.909
9	6301.018	6036.325	7449.76
10	6036.325	6385.872	6971.319
11	6385.872	6881.459	7577.235
12	6881.459	6882.384	7412.393
13	6882.384	7051.044	7411.418
14	7051.044	7284.864	7265.755
15	7284.864	7208.597	7290.691
16	7208.597	7122.361	7241.257
17	7122.361	6997.675	7224.569
18	6997.675	7012.168	7304.436
19	7012.168	7762.638	7292.942
20	7762.638	7941.986	7731.935
21	7941.986	8349.691	7697.741
22	8349.691	9458.665	7397.131
23	9458.665	10569.32	9921.702

24	10569.32	11191.72	10708.19
25	11191.72	11132.73	10987.73
26	11132.73	10006.48	10986.42
27	10006.48	9722.244	9450.207
28	9722.244	9783.444	9477.161
29	9783.444	9217.116	9392.718
30	9217.116	8820.28	10068.31
31	8820.28	8937.355	8745.632
32	8937.355	8735.114	9273.829
33	8735.114	8131.429	8361.503
34	8131.429	8883.316	7529.612
35	8883.316	8807.37	9034.818
36	8807.37	9291.856	8686.078
37	9291.856	9455.717	10093.18
38	9455.717	10134.48	9926.169
39	10134.48	10620.18	9668.451
40	10620.18	9557.126	10788.05
41	9557.126	8767.164	9752.388
42	8767.164	9011.936	8503.555
43	9011.936	8840.469	9574.003
44	8840.469	8413.028	8838.707
45	8413.028	7371.117	7430.332
46	7371.117	7155.774	7364.96
47	7155.774	6886.586	7214.682

#### Lampiran 16 Fuzzy rule base Model-3

No	Jika		Maka
	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_2$	$A_1$
2	$A_1$	$A_3$	$A_1$
3	$A_2$	$A_2$	$A_2$
4	$A_2$	$A_4$	$A_2$
5	$A_2$	$A_1$	$A_2$
6	$A_2$	$A_3$	$A_3$
7	$A_3$	$A_1$	$A_3$
8	$A_3$	$A_2$	$A_3$
9	$A_3$	$A_3$	$A_3$

10	$A_3$	$A_4$	$A_3$
11	$A_4$	$A_4$	$A_4$
12	$A_4$	$A_3$	$A_4$
13	$A_4$	$A_5$	$A_4$
14	$A_4$	$A_6$	$A_5$
15	$A_5$	$A_6$	$A_5$
16	$A_5$	$A_4$	$A_5$
17	$A_5$	$A_3$	$A_5$
18	$A_6$	$A_8$	$A_6$
19	$A_6$	$A_5$	$A_6$
20	$A_6$	$A_7$	$A_6$
21	$A_6$	$A_6$	$A_6$
22	$A_7$	$A_7$	$A_6$
23	$A_7$	$A_6$	$A_7$
24	$A_7$	$A_8$	$A_7$
25	$A_7$	$A_5$	$A_7$
26	$A_8$	$A_9$	$A_8$
27	$A_8$	$A_7$	$A_8$
28	$A_9$	$A_9$	$A_9$
29	$A_9$	$A_7$	$A_9$

**Lampiran 17** Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-3

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6602.688	6593.991
2	6274.846	6602.688	7642.71	7339.3
3	6602.688	7642.71	8027.179	7616.376
4	7642.71	8027.179	7054.292	8516.53
5	8027.179	7054.292	6090.038	6603.099
6	7054.292	6090.038	6852.516	6950.956
7	6090.038	6852.516	6301.018	7096.301
8	6852.516	6301.018	6036.325	7067.896
9	6301.018	6036.325	6385.872	7010.348
10	6036.325	6385.872	6881.459	7010.348
11	6385.872	6881.459	6882.384	7312.194
12	6881.459	6882.384	7051.044	7140.567
13	6882.384	7051.044	7284.864	7142.622
14	7051.044	7284.864	7208.597	7311.718

15	7284.864	7208.597	7122.361	7172.642
16	7208.597	7122.361	6997.675	7066.673
17	7122.361	6997.675	7012.168	6997.306
18	6997.675	7012.168	7762.638	7141.045
19	7012.168	7762.638	7941.986	7738.35
20	7762.638	7941.986	8349.691	8560.408
21	7941.986	8349.691	9458.665	8996.47
22	8349.691	9458.665	10569.32	9866.654
23	9458.665	10569.32	11191.72	10289.58
24	10569.32	11191.72	11132.73	10771.4
25	11191.72	11132.73	10006.48	9863.047
26	11132.73	10006.48	9722.244	9624.685
27	10006.48	9722.244	9783.444	8990.693
28	9722.244	9783.444	9217.116	9433.898
29	9783.444	9217.116	8820.28	8758.985
30	9217.116	8820.28	8937.355	8850.653
31	8820.28	8937.355	8735.114	9516.96
32	8937.355	8735.114	8131.429	9431.853
33	8735.114	8131.429	8883.316	9175
34	8131.429	8883.316	8807.37	9430.547
35	8883.316	8807.37	9291.856	9445.625
36	8807.37	9291.856	9455.717	9571.853
37	9291.856	9455.717	10134.48	9402.593
38	9455.717	10134.48	10620.18	9989.563
39	10134.48	10620.18	9557.126	9999.558
40	10620.18	9557.126	8767.164	8829.865
41	9557.126	8767.164	9011.936	8886.605
42	8767.164	9011.936	8840.469	9622.818
43	9011.936	8840.469	8413.028	9263.186
44	8840.469	8413.028	7371.117	9175
45	8413.028	7371.117	7155.774	7806.195
46	7371.117	7155.774	6886.586	6911.096

#### Lampiran 18 Fuzzy rule base Model-4

No	Jika		Maka
	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_2$	$A_1$
2	$A_1$	$A_3$	$A_1$
3	$A_2$	$A_2$	$A_2$
4	$A_2$	$A_4$	$A_2$



5	$A_2$	$A_1$	$A_2$
6	$A_2$	$A_3$	$A_3$
7	$A_3$	$A_1$	$A_3$
8	$A_3$	$A_2$	$A_3$
9	$A_3$	$A_3$	$A_3$
10	$A_3$	$A_4$	$A_3$
11	$A_4$	$A_4$	$A_4$
12	$A_4$	$A_3$	$A_4$
13	$A_4$	$A_5$	$A_4$
14	$A_4$	$A_6$	$A_5$
15	$A_5$	$A_6$	$A_5$
16	$A_5$	$A_4$	$A_5$
17	$A_5$	$A_3$	$A_5$
18	$A_6$	$A_8$	$A_6$
19	$A_6$	$A_5$	$A_6$
20	$A_6$	$A_7$	$A_6$
21	$A_6$	$A_6$	$A_6$
22	$A_7$	$A_7$	$A_6$
23	$A_7$	$A_6$	$A_7$
24	$A_7$	$A_8$	$A_7$
25	$A_7$	$A_5$	$A_7$
26	$A_8$	$A_9$	$A_8$
27	$A_8$	$A_7$	$A_8$
28	$A_9$	$A_9$	$A_9$
29	$A_9$	$A_7$	$A_9$

#### Lampiran 19 Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-4

Data ke	$x_{t-1}$	$x_{t-2}$	$x_t$ sebenarnya	$x_t = y^*$ prediksi
1	5830.959	6274.846	6602.688	6681.567
2	6274.846	6602.688	7642.71	7402.618
3	6602.688	7642.71	8027.179	7627.517
4	7642.71	8027.179	7054.292	8494.517
5	8027.179	7054.292	6090.038	6748.943
6	7054.292	6090.038	6852.516	6975.245
7	6090.038	6852.516	6301.018	7082.056
8	6852.516	6301.018	6036.325	7065.028
9	6301.018	6036.325	6385.872	6971.319
10	6036.325	6385.872	6881.459	6971.319

11	6385.872	6881.459	6882.384	7304.414
12	6881.459	6882.384	7051.044	7157.219
13	6882.384	7051.044	7284.864	7164.325
14	7051.044	7284.864	7208.597	7307.51
15	7284.864	7208.597	7122.361	7231.844
16	7208.597	7122.361	6997.675	7190.007
17	7122.361	6997.675	7012.168	7097.505
18	6997.675	7012.168	7762.638	7175.271
19	7012.168	7762.638	7941.986	7762.319
20	7762.638	7941.986	8349.691	8472.814
21	7941.986	8349.691	9458.665	9025.875
22	8349.691	9458.665	10569.32	9915.209
23	9458.665	10569.32	11191.72	10240.49
24	10569.32	11191.72	11132.73	10702.06
25	11191.72	11132.73	10006.48	9906.733
26	11132.73	10006.48	9722.244	9612.343
27	10006.48	9722.244	9783.444	9055.504
28	9722.244	9783.444	9217.116	9378.334
29	9783.444	9217.116	8820.28	8832.336
30	9217.116	8820.28	8937.355	8961.453
31	8820.28	8937.355	8735.114	9525.169
32	8937.355	8735.114	8131.429	9407.504
33	8735.114	8131.429	8883.316	9146.451
34	8131.429	8883.316	8807.37	9403.357
35	8883.316	8807.37	9291.856	9427.274
36	8807.37	9291.856	9455.717	9586.329
37	9291.856	9455.717	10134.48	9356.633
38	9455.717	10134.48	10620.18	9998.025
39	10134.48	10620.18	9557.126	9892.111
40	10620.18	9557.126	8767.164	8819.764
41	9557.126	8767.164	9011.936	8906.876
42	8767.164	9011.936	8840.469	9668.234
43	9011.936	8840.469	8413.028	9215.67
44	8840.469	8413.028	7371.117	9222.101
45	8413.028	7371.117	7155.774	7752.042
46	7371.117	7155.774	6886.586	7095.087

**Lampiran 20** *Fuzzy rule base Model-6*

No	Jika			Maka
	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$
1	$A_1$	$A_3$	$A_2$	$A_1$
2	$A_4$	$A_4$	$A_3$	$A_1$
3	$A_3$	$A_2$	$A_3$	$A_2$
4	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_2$
5	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_3$
6	$A_2$	$A_4$	$A_4$	$A_3$
7	$A_2$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
8	$A_2$	$A_3$	$A_3$	$A_3$
9	$A_3$	$A_3$	$A_3$	$A_3$
10	$A_4$	$A_3$	$A_1$	$A_3$
11	$A_5$	$A_3$	$A_3$	$A_3$
12	$A_6$	$A_6$	$A_5$	$A_3$
13	$A_6$	$A_5$	$A_3$	$A_3$
14	$A_1$	$A_2$	$A_2$	$A_4$
15	$A_2$	$A_2$	$A_4$	$A_4$
16	$A_3$	$A_3$	$A_4$	$A_4$
17	$A_5$	$A_6$	$A_5$	$A_4$
18	$A_3$	$A_4$	$A_4$	$A_5$
19	$A_5$	$A_4$	$A_6$	$A_5$
20	$A_5$	$A_6$	$A_6$	$A_5$
21	$A_6$	$A_5$	$A_6$	$A_5$
22	$A_7$	$A_7$	$A_6$	$A_5$
23	$A_7$	$A_8$	$A_7$	$A_5$
24	$A_4$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
25	$A_4$	$A_6$	$A_5$	$A_6$
26	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_6$
27	$A_7$	$A_7$	$A_7$	$A_6$
28	$A_7$	$A_6$	$A_5$	$A_6$
29	$A_7$	$A_5$	$A_6$	$A_6$
30	$A_8$	$A_7$	$A_5$	$A_6$
31	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_7$
32	$A_8$	$A_9$	$A_9$	$A_7$
33	$A_9$	$A_9$	$A_7$	$A_7$
34	$A_9$	$A_7$	$A_7$	$A_7$
35	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_8$
36	$A_6$	$A_6$	$A_7$	$A_8$
37	$A_5$	$A_6$	$A_8$	$A_9$

38	$A_6$	$A_8$	$A_9$	$A_9$
----	-------	-------	-------	-------

**Lampiran 21** Hasil Prediksi Harga CPO TRD Model-6

Data ke-	$x_{t-3}$	$x_{t-2}$	$x_{t-1}$	$x_t$ (sebenarnya)	$x_t = y^*$ (prediksi)
1	5830.959	6274.846	6602.688	7642.71	7673.518
2	6274.846	6602.688	7642.71	8027.179	7634.957
3	6602.688	7642.71	8027.179	7054.292	7485.023
4	7642.71	8027.179	7054.292	6090.038	6331.477
5	8027.179	7054.292	6090.038	6852.516	7142.261
6	7054.292	6090.038	6852.516	6301.018	6628.042
7	6090.038	6852.516	6301.018	6036.325	7119.713
8	6852.516	6301.018	6036.325	6385.872	6684.867
9	6301.018	6036.325	6385.872	6881.459	7323.899
10	6036.325	6385.872	6881.459	6882.384	7389.14
11	6385.872	6881.459	6882.384	7051.044	7164.434
12	6881.459	6882.384	7051.044	7284.864	7191.198
13	6882.384	7051.044	7284.864	7208.597	7349.337
14	7051.044	7284.864	7208.597	7122.361	7354.435
15	7284.864	7208.597	7122.361	6997.675	7190.784
16	7208.597	7122.361	6997.675	7012.168	7153.696
17	7122.361	6997.675	7012.168	7762.638	7187.429
18	6997.675	7012.168	7762.638	7941.986	7760.818
19	7012.168	7762.638	7941.986	8349.691	8170.858
20	7762.638	7941.986	8349.691	9458.665	9080.564
21	7941.986	8349.691	9458.665	10569.32	9978.312
22	8349.691	9458.665	10569.32	11191.72	10867.67
23	9458.665	10569.32	11191.72	11132.73	10756.52
24	10569.32	11191.72	11132.73	10006.48	9849.829
25	11191.72	11132.73	10006.48	9722.244	9849.928
26	11132.73	10006.48	9722.244	9783.444	9849.717
27	10006.48	9722.244	9783.444	9217.116	9110.099
28	9722.244	9783.444	9217.116	8820.28	8721.66
29	9783.444	9217.116	8820.28	8937.355	8694.465
30	9217.116	8820.28	8937.355	8735.114	8073.835
31	8820.28	8937.355	8735.114	8131.429	7766.888
32	8937.355	8735.114	8131.429	8883.316	8316.478
33	8735.114	8131.429	8883.316	8807.37	8531.268
34	8131.429	8883.316	8807.37	9291.856	9087.731

35	8883.316	8807.37	9291.856	9455.717	8954.189
36	8807.37	9291.856	9455.717	10134.48	9362.31
37	9291.856	9455.717	10134.48	10620.18	10082.75
38	9455.717	10134.48	10620.18	9557.126	9892.111
39	10134.48	10620.18	9557.126	8767.164	8545.244
40	10620.18	9557.126	8767.164	9011.936	9138.976
41	9557.126	8767.164	9011.936	8840.469	8516.193
42	8767.164	9011.936	8840.469	8413.028	7905.205
43	9011.936	8840.469	8413.028	7371.117	7724.956
44	8840.469	8413.028	7371.117	7155.774	7956.652
45	8413.028	7371.117	7155.774	6886.586	7040.805